

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA Y  
TELECOMUNICACIONES**



**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRONICO Y TELECOMUNICACIONES**

**“DISEÑO DE UNA RED 4G-LTE OUTDOOR DE LA EMPRESA AMÉRICA  
MÓVIL PERÚ SAC PARA LA PROVINCIA DE SECHURA”**

**AUTOR:**

**Bach. DILMER JAVIER PUEL CRUZ**

**ASESOR:**

**DR. CARLOS ENRIQUE ARELLANO RAMIREZ**

**PIURA**

**2017**

**FIRMAS DEL AUTOR Y ASESOR**

**DISEÑO DE UNA RED 4G-LTE OUTDOOR DE LA EMPRESA AMÉRICA  
MÓVIL PERÚ SAC PARA LA PROVINCIA DE SECHURA**



---

**Bach. Dilmer Javier Puel Cruz**  
**TESISTA**



---

**Dr. Carlos Enrique Arellano Ramírez**  
**ASESOR**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE LA TESIS

Yo: Pilmer Javier Puel Cruz  
identificado con CU/DNI N° 1332044020, Bachiller de Escuela Profesional de Ingeniería  
Electrónica y Telecomunicaciones, de la Facultad de Ciencias y domiciliado en calle  
/Jiron/Av. Vrb. Santa Ana N° 0-24 del Piura  
Distrito Piura Provincia Piura Departamento Piura Celular:  
978309367 Email: dj.puelcruz@hotmail.es

**DECLARO BAJO JURAMENTO:** que la tesis que presento es auténtica e inédita, no siendo  
copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en  
caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo  
establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444,  
y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los  
Derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura Diciembre del 2017

  
DNI N° 47506313

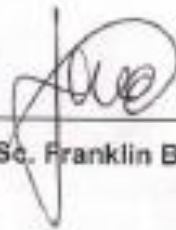
Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación a hechos o circunstancias que le  
corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor  
de uno ni mayor de cuatro años.

Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos  
profesionales -RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD



**FIRMAS DE LOS JURADOS**

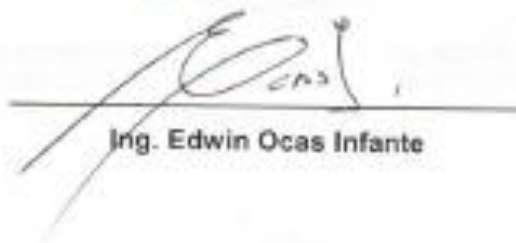
**DISEÑO DE UNA RED 4G-LTE OUTDOOR DE LA EMPRESA AMÉRICA  
MÓVIL PERÚ SAC PARA LA PROVINCIA DE SECHURA**



**M.Sc. Franklin Barra Zapata**



**Ing. Mario Ramos Echevarría**



**Ing. Edwin Ocas Infante**





UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE CIENCIAS



ACTA DE SUSTENTACIÓN 086-2017-FC-UNP

FACULTAD DE CIENCIAS

Los Miembros del Jurado Calificador que suscriben, reunidos para evaluar la Tesis denominada "DISEÑO DE UNA RED 4G-LTE OUTDOOR DE LA EMPRESA AMÉRICA MÓVIL PERÚ SAC PARA LA PROVINCIA DE SECHURA" presentado por el señor Bachiller PUEL CRUZ DILMER JAVIER, con el asesoramiento del Dr. Carlos Enrique Arellano Ramírez; oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, y de conformidad al Reglamento de Tesis para obtener el Título Profesional en la Facultad de Ciencias, lo declaran:

APROBADO (X)

DESAPROBADO ( )

Con la mención de:

Muy BUENO

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo de Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES.

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES; después que el sustentante incorpore la sugerencia del Jurado Calificador.

Piura, 27 de diciembre 2017.

Ing. MARIO AUGUSTO RAMOS ECHEVARRIA  
PRESIDENTE DE JURADO DE TESIS

Ing. EDWIN ARNALDO OCAS INFANTE  
SECRETARIO DE JURADO DE TESIS



MSc. FRANKLIN BARRA ZAPATA  
VOCAL DE JURADO DE TESIS

Campus Universitario - Urb. Miraflores S/N. Castilla

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación principalmente a Dios por ser la fuente de sabiduría y guía en mis pasos del día a día.

A mis padres por brindarme el apoyo y el incentivo necesario para lograr mis metas y con mi esfuerzo y empeño lograr la formación de mi carrera profesional.

A mis hermanos que siempre estuvieron de mi lado para alentarme y así llegar a la meta.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer principalmente a Dios por darme las fuerzas y guiarme a cada instante.

A mis padres por ser ellos quienes hicieron infinitos sacrificios para apoyarme en mi carrera profesional.

A mi hermano Alcides Puel Cruz por ser como mi segundo padre y estar pendiente en el desarrollo de mis estudios universitarios.

Y agradecer sinceramente a nuestro Asesor, el Dr. Carlos Enrique Arellano Ramírez, por su esfuerzo y dedicación. Sus conocimientos, sus orientaciones, su paciencia y dedicación, han sido fundamentales.

A todos ellos, muchas gracias.

## RESUMEN

Está presente investigación se centra en el avance vertiginoso de las telecomunicaciones a partir de ello se realizó un diseño de una red 4G-LTE para la ciudad de Sechura, de tal forma de que al implementarse esta red se podrá atender a toda la provincia de Sechura, sobre todo las zonas más alejadas y de interés social.

La ciudad de Piura es una ciudad con fuerte desarrollo potencial que ha incrementado la cantidad de usuarios de telefonía móvil, ocasionando gran tráfico de datos y mayor requerimiento de ancho de banda, esta ciudad se divide en siete provincias en las cuales los operadores poco a poco están desplegando sus redes tratando de llegar a todos sus habitantes en particular en atender a aquellas zonas más distantes, además como investigador me permite aplicar todos los conocimientos adquiridos en la carrera profesional, siendo una enorme motivación personal poder aportar mis conocimientos en beneficios de la población sechurana.

El objetivo principal de esta investigación es diseñar una red 4G-LTE outdoor de la empresa América Móvil Perú S.A.C para la provincia de Sechura.

Primero se verá la situación de las telecomunicaciones en el país, sobre todo en las zonas rurales, haciéndose una descripción de la zona de estudio. Con los datos obtenidos al revisar la zona, se procedió a realizar la ingeniería del proyecto. Se escogieron los equipos necesarios para luego presentar un presupuesto del proyecto en general. Y finalmente se estableció las conclusiones y recomendaciones del diseño de esta red.

Palabras clave: Diseño, Red Celular Outdoor LTE-4G, operador móvil.



## **ABSTRACT**

This research is focused on the breakthrough of telecommunication. From this, a design of a 4G-LTE network was made for the city of Sechura, in such a way that when this network is implemented it will be able to take care of all the province of Sechura, especially the most remote areas and social interest.

The city of Piura is a city with strong potential development that has increased the number of mobile phone users, causing great data traffic and greater bandwidth requirement, this city is divided into seven provinces in which operators gradually are deploying their networks trying to reach all its inhabitants in particular to attend to those areas more distant, also as a researcher allows me to apply all the knowledge acquired in the professional career, being a huge personal motivation to be able to contribute my knowledge in benefits of the population sechurana

The main objective of this research is to design an outdoor 4G-LTE network of the company América Móvil Perú S.A.C for the province of Sechura.

First, the situation of telecommunications in the country will be seen, especially in rural areas, with a description of the area of study. With the data obtained when reviewing the area, the project was carried out. The necessary equipment was chosen to present a project budget in general. And finally the conclusions and recommendations of the design of this network were established.

Keywords: Design, Outdoor Cellular Network LTE-4G, mobile operator.

## INDICE GENERAL

FIRMAS DEL AUTOR Y ASESOR .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIRMAS DE LOS JURADOS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ACTA DE SUSTENTACION .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT.....	IX
INDICE GENERAL.....	X
INDICE DE FIGURAS .....	XII
INDICE DE TABLAS.....	XIV
CAPITULO I: DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	1
1.1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	1
1.1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA .....	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	6
1.5.1. METODO, DISEÑO Y TIPO DE LA INVESTIGACION .....	8
1.5.2. COBERTURA DEL ESTUDIO .....	8
1.5.2.1. POBLACION .....	8
1.5.2.2. MUESTRA.....	8
1.6.1.1. TÉCNICAS .....	9
1.6.1.2. INSTRUMENTOS.....	9
2.1.1 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS SATELITALES.....	10
2.1.2 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS POR WIFI.....	11
2.1.3 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS POR BLUETOOTH.....	12
2.1.4 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS POR GPS.....	12
2.1.5 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS POR TELÉFONO MÓVIL ...	12
2.2.1 LTE.....	15
2.2.2 LTE AVANZADA.....	16
2.3.1 TECNICAS DE MULTIPLE ACCESO OFDM Y OFDMA.....	17
2.3.2 TECNICA SC – FDMA.....	19
2.3.3 TECNOLOGIAS TDD Y FDD.....	21
2.3.4 TECNLOGIA MIMO .....	24
2.3.5 BANDA ANCHA.....	25
2.3.6 INTERFAZ RADIO DEL SISTEMA LTE.....	28
2.3.7 REUSO DE FRECUENCIAS.....	31
2.3.8 ROAMING.....	32
2.4.1. ARQUITECTURA GENERAL DE LOS SISTEMAS CELULARES. ...	32
2.4.2. ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA LTE .....	33
2.4.3. RED DE ACCESO EVOLUCIONADA: E-UTRAN.....	34
2.4.3.1.1 Evolved NodeB (eNB) .....	36
2.4.3.1.2 Interfaz Radio .....	37
2.4.3.1.3 Interfaz eNB ↔EPC (S1).....	38
2.4.3.1.4 Interfaz eNB eNB (X2).....	39

2.4.3.2.1 Protocolo de Interfaz Radio .....	40
2.4.3.2.1 Protocolos en las interfaces S1 y X2.....	41
2.4.4. RED TRONCAL DE PAQUETES EVOLUCIONADA: EPC .....	42
2.4.5. IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM (IMS).....	44
2.4.6. EQUIPOS DE USUARIO .....	45
2.5.1. CANALES FÍSICOS DE TRÁFICO .....	46
2.5.2. CANALES DE CONTROL.....	46
<b>CAPITULO III: SITUACION Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO ..</b>	<b>48</b>
<b>CAPITULO IV: INGENIERIA DEL PROYECTO .....</b>	<b>51</b>
4.1.1 BANDA DE FRECUENCIA.....	51
4.1.2 MODELO DE PROPAGACION.....	54
4.2.1. SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR PARA CADA MODULACION .	54
4.2.2. RADIO DE COBERTURA DE LA CELDA.....	58
4.2.3. ÁREA DE COBERTURA DE LA CELDA. ....	65
4.2.4. ANILLOS DE COBERTURA POR MODULACION .....	66
4.3.1. DISPOSICION DE RECURSOS POR MODULACION.....	67
4.3.2. CAPACIDAD TOTAL DEL UL Y DL.....	68
4.4.1. TIPO DE SERVICIOS.....	69
<b>CAPITULO V: ASPECTOS ECONOMICOS.....</b>	<b>90</b>
5.3.1 INGRESOS.....	92
5.3.2 FLUJO DE CAJA .....	92
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>94</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>95</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>96</b>

## INDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Comunicaciones Satelitales.....	17
Fig. 2.2 Comunicaciones por Wifi.....	18
Fig. 2.3 Comunicaciones por telefonía móvil .....	19
Fig. 2.4 Señal OFDM en el tiempo .....	25
Fig.2.5 Multiplexación OFDMA.....	25
Fig. 2.6 SC-FDMA modo Localizado.....	27
Fig. 2.7 SC-FDMA modo Distribuido.....	28
Fig. 2.8 Esquema de tecnología TDD .....	29
Fig. 2.9 Esquema de tecnología FDD .....	30
Fig. 2.10 Diagrama de un sistema MIMO .....	32
Fig. 2.11 Diagrama de un sistema SISO, MISO y SIMO .....	32
Fig. 2.12 Ancho de Banda para aplicaciones según su generación.....	34
Fig. 2.13 Concepto del PRB.....	36
Fig. 2.14 Interferencia Intercelular de LTE.....	38
Fig. 2.15 Posibles esquemas de reúso de frecuencias en LTE implementados a través de una estrategia ICIC .....	39
Fig. 2.16 Esquema general de la arquitectura del sistema LTE .....	41
Fig. 2.17 Comparativa de la red de acceso entre 3G y 4G.....	42
Fig. 2.18 mecanismos de transferencia de información en la interfaz radio .....	45
Fig. 2.19 Control de los servicios portadores radio y S1 a través de la interfaz S1-MME.....	46
Fig. 2.20 Protocolos en la Interfaz Radio .....	47
Fig. 2.21 Protocolos de las Interfaces S1 y X2 .....	48
Fig. 3.1 Distritos de la provincia de Sechura.....	55
Fig. 3.2 Parámetros climáticos promedio de Sechura.....	55
Fig. 4.1 Variaciones de sensibilidad en el enlace de bajada .....	62
Fig. 4.2 Variaciones de sensibilidad en el enlace de subida.....	63
Fig. 4.3 Área de la celda.....	70
Fig. 4.4 Codificación de la VoIP.....	74

Fig. 4.5 Cálculo de líneas para el servicio de VoIP usando la calculadora de Erlang.....	78
Fig. 4.6 ubicación de los NBs ubicados por Claro en el distrito de Sechura.....	81
Fig. 4.7 Topología de red de transporte.....	85
Fig. 4.8 Perfil del Enlace ENB 1 y ENB 3.....	86
Fig. 4.9 Perfil del Enlace ENB 3 y ENB 6.....	86
Fig. 4.10 Perfil del Enlace ENB 1 y ENB 4.....	87
Fig. 4.11 Perfil del Enlace ENB 4 y ENB 7.....	87
Fig. 4.12 Perfil del Enlace ENB 1 y ENB2.....	88
Fig. 4.13 Perfil del Enlace ENB 2 y ENB 5.....	88
Fig. 4.14 Perdida en el espacio libre.....	89
Fig. 4.15 eNB Flexi multiradio.....	91
Fig. 4.16 Equipo microondas MTP 9500 de Alcatel – Lucent.....	93

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Relación subportadoras – canalización del sistema LTE.....	35
Tabla 2.2: Bandas de frecuencias asignadas a LTE-FDD .....	35
Tabla 2.3: Bandas de frecuencias asignadas a LTE – TDD.....	36
Tabla 2.4: Relación canalización – número de PRB del sistema LTE .....	36
Tabla 2.5: Velocidades de pico en función de la canalización del sistema LTE..	37
Tabla 4.1 Banda de frecuencias LTE.....	57
Tabla 4.2 Canales LTE.....	58
Tabla 4.3 Sub bandas permitidas para el uso de LTE en el Perú.....	59
Tabla 4.4 Variación del SINR en función de la modulación y tasa de codificación.....	61
Tabla 4.5 Valores de sensibilidad en el enlace de bajada.....	62
Tabla 4.6 Valores de sensibilidad en el enlace de subida.....	63
Tabla 4.7 Valores de límites de sensibilidad, según la modulación, para el enlace de bajada.....	64
Tabla 4.8 Especificaciones técnicas de los equipos transmisor y receptor, en el enlace de bajada.....	66
Tabla 4.9 Valores de MPLA para el enlace de bajada.....	66
Tabla 4.10 Radios de cobertura según la modulación en el enlace de bajada.....	67
Tabla 4.11 Valores de límites de sensibilidad, según la modulación, para el enlace de subida.....	67
Tabla 4.12 Especificaciones técnicas del equipo transmisor y receptor, en el enlace de bajada.....	69
Tabla 4.13 Valores de máxima pérdida permitida en el enlace de subida.....	69
Tabla 4.14 Cobertura según la modulación en el enlace de subida.....	69
Tabla 4.15 Radio del Enlace dominante.....	70
Tabla 4.16 Radio del Enlace dominante.....	71

Tabla 4.17 Capacidad según su modulación.....	72
Tabla 4.18 Capacidad total en el enlace de subida y bajada.....	73
Tabla 4.19 Porcentaje de clientes según servicio y año.....	75
Tabla 4.20 Servicios a prestar por la red.....	75
Tabla 4.21 Resumen de las cantidades demandadas en la red.....	78
Tabla 4.22 Ubicación Geográfica de los eNBs.....	81
Tabla 4.23 Resumen de la cobertura del eNB 1.....	82
Tabla 4.24 Resumen de la cobertura del eNB 2.....	82
Tabla 4.25 Resumen de la cobertura del eNB 3.....	82
Tabla 4.26 Resumen de la cobertura del eNB 4.....	83
Tabla 4.27 Resumen de la cobertura del eNB 5.....	83
Tabla 4.28 Resumen de la cobertura del eNB 6.....	83
Tabla 4.29 Resumen de la cobertura del eNB 7.....	83
Tabla 4.30 Resumen de la cobertura del eNB 1.....	83
Tabla 4.31 Canalizado de frecuencias en banda de 23 GHz.....	85
Tabla 4.32 Asignación de Canales.....	89
Tabla. 4.33 Especificaciones RF del eNB Flexi multiradio.....	91
Tabla. 4.34 Especificaciones Técnicas del MTP 9500.....	92
Tabla 5.1 CAPEX del proyecto.....	94
Tabla 5.2 Gastos por instituciones de telecomunicaciones.....	95
Tabla 5.3 Ingresos Anuales.....	96
Tabla 5.4 Pagos a Instituciones de telecomunicaciones.....	96
Tabla 5.5 Flujo de Caja.....	97



## **CAPITULO I: DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

En los últimos años la demanda por acceso a internet desde cualquier lugar ha ido creciendo notablemente. Esto implica tener cobertura celular amplia y de óptima calidad para ofrecer una buena experiencia al usuario. Pero la necesidad del usuario no quedo únicamente en acceso a internet desde cualquier lugar, sino que también demandaron velocidades de acceso cada vez mayores. Desde la introducción de la tecnología 2.5G (GPRS) hasta la última LTE se ha buscado cumplir con estas demandas cada vez más crecientes.

El Perú no es ajeno a estos cambios, según las estadísticas nos muestra que la cantidad de subscriptores a algún servicio de internet móvil en plan control y post-pago creció en un 75% desde diciembre del 2010 hasta febrero del 2013. (Chancasana, 2015)

Actualmente la evolución de las tecnologías móviles nos permite tener más capacidad, más velocidad de la información y más ancho de banda. En el Perú con la llegada de la telefonía móvil de cuarta generación 4G LTE ha permitido los operadores telefónicos desplieguen sus redes en las grandes ciudades beneficiando a miles de usuarios, sin embargo, este despliegue se ha realizado de manera lenta y no en su totalidad en algunas ciudades, esto debido a factores económicos, sociales debido al desconocimiento de la gente en lo que se refiere al temor por las antenas colocadas en las estaciones de radio, situación que cambiaría ya que al colocar muchas estaciones radio base estas reducirían su potencia de transmisión incluso los equipos móviles trabajarían a menor potencia, resultando en menor radiación, menor gasto y mayor calidad en las comunicaciones y servicios.

La ciudad de Piura es una ciudad con fuerte desarrollo potencial que ha incrementado la cantidad de usuarios de telefonía móvil, ocasionando gran tráfico de datos y mayor requerimiento de ancho de banda, esta ciudad se divide en siete provincias en las cuales los operadores poco a poco están

desplegando sus redes tratando de llegar a todos sus habitantes en particular en atender a aquellas zonas más alejadas y de interés social. (Lozada, 2016)

Una de estas provincias es Sechura, provincia que está teniendo un enorme desarrollo económico, y demográfico debido al fuerte crecimiento en minería, hidrocarburos y productos hidrobiológicos especialmente maricultura, en ese sentido hay gran demanda de los servicios de telecomunicaciones, cada vez se requiere más velocidad y más ancho de banda para atender los requerimientos de la población sechurana, es por eso que esta investigación propone el diseño de una red 4G-LTE para la provincia de Sechura.

### **1.1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA**

El diseño de una red celular se puede realizar en base a lograr una buena cobertura o soportar un tráfico deseado. Para obtener una red óptima se toman decisiones con el objetivo de conseguir los más altos niveles posibles tanto en cobertura como en tráfico a ofrecer. En los últimos años, la demanda de cobertura y tráfico sumado a las solicitudes de mayores velocidades de internet móvil han hecho cada vez más complicado el diseño de redes *indoor.*, ya que existe una gran demanda de servicios de telecomunicaciones con banda ancha en la ciudad de Sechura por parte del sector público y privado.

De esta manera se ha optado por diseñar una red 4G-LTE OUTDOOR para la empresa América Móvil Perú SAC

## **1.2. ANTECEDENTES**

Existen diversas investigaciones desarrolladas en el Perú y el Mundo sobre diseño de red LTE-4G outdoor / indoor como son:

Según **Michael Eduardo Chancasana Cueto (2015)** en su tesis titulada “Diseño de una red 4g-lte indoor para el centro comercial real plaza santa clara”, nos dice:

El Perú se encuentra entre estos 17 países con despliegue de 4G, ya que desde el 01 de enero del 2014 entró en vigencia la red LTE de Movistar, en junio del 2014 la red de Claro y en octubre del 2014 desplegó LTE comercialmente Entel, segunda operadora ganadora de una de las dos bandas de LTE (la primera fue Movistar). En la actualidad, el servicio de LTE representa el 7% de la cuota del mercado móvil mundial con 498 millones de conexiones y se estima que para el año 2018 represente el 16%.

El despliegue de LTE se da en la mayoría de las redes aplicando FDD que implica el uso de dos porciones de bandas de frecuencia; una para DL y la otra para UL. Pero una nueva opción está surgiendo con fuerza en el mundo: es el despliegue en TDD que implica el uso de sólo una banda de frecuencia para DL y UL. Las cuatro principales ventajas que tiene TD-LTE, así se denomina a este nuevo despliegue, frente al despliegue en FDD son: los bajos costos de implementación, la utilización flexible del espectro, la alta eficiencia espectral para adaptar la configuración de UL/DL y la supresión de interferencia. Hasta abril del 2015 son 35 los países que han implementado esta nueva opción con 58 redes. Se tienen adicionalmente 81 redes en planificación o despliegue. Los cambios cada vez más frecuentes en los últimos años hacen que las redes *indoor* se vean desfavorecidas ante el crecimiento de las ciudades. Muchas soluciones se han planteado para frenar este problema, pero la que ha evolucionado y está siendo aplicada cada vez más es la solución *outdoor*. Surge como una opción de despliegue de red para interiores como: edificios, centros comerciales, aeropuertos, estadios, etc. Esta solución tiene diversas opciones como el uso de repetidores que repiten la señal del *outdoor* hacia los interiores, sistemas distribuidos de antenas que reparten la señal provista por un equipo central y *small cells* que son celdas de menor capacidad en comparación con las celdas *indoor*. Esta solución sigue en constante investigación. Su futuro es prometedor debido a que la tendencia en despliegue de redes es tener cada vez más estaciones de menor área de cobertura con la finalidad de concentrar los recursos en pequeñas áreas; para con ello asegurar mayor velocidad y calidad de servicio.

Como conclusiones menciona que:

- Con las simulaciones mostradas tanto en 4G, 3G y 2G se obtiene una óptima cobertura de señal celular dentro del centro comercial Real Plaza Santa Clara. Esto lo respaldan los niveles de KPI obtenidos luego de la instalación que están dentro del rango aceptable impuesto por las operadoras.

- Las redes *outdoor* mejoran la cobertura dentro de edificaciones, además, descongestionan las redes *indoor*. Un correcto despliegue de redes *outdoor* en lugares con gran afluencia de usuarios hace que las redes *indoor* se liberen y reduzcan su radio de cobertura emitiendo menores niveles de potencia. Los usuarios deben entender que el aumento de estaciones base y redes *outdoor* en vez de generar mayor radiación y niveles de potencia las disminuye.

Según **Cesar Augusto Lozada Timana (2016)** en su tesis titulada “Radio Planning LTE Para La Ciudad De Piura”, nos dice:

El auge de las nuevas tecnologías celulares de hoy en día ha permitido que las grandes ciudades desarrollen grandes sistemas de comunicación permitiendo grandes anchos de banda con capacidades que permiten a los usuarios acceso de banda ancha para datos e internet a grandes velocidades. En el Perú el despliegue de esta tecnología conocida como LTE continúa cubriendo las ciudades tratando de que los operadores ofrezcan la mayor cobertura posible y lograr llegar incluso a zonas rurales. Está presente investigación trata de diseñar la planificación de radio LTE para la ciudad de Piura abarcando los distritos de Piura y Castilla, se evalúa el Link Budget del sistema, así como el cálculo de la capacidad del sistema en función a consideraciones mínimas del sistema y por último se calcula la cantidad de estaciones base necesarias para ofrecer cobertura L TE a gran velocidad en los mencionados distritos.

Como conclusiones menciona que:

- En el diseño de una red LTE para los Distritos de Piura y Castilla se consideró un modelo de propagación adecuado para zonas urbanas, dicho modelo se implementó en el link Budget tanto en el uplink como downlink, se calculó la sensibilidad en función de la modulación y codificación y se calculó el área de cobertura que tendrá cada estación.
- Se evaluó la capacidad de las BTS en función de la modulación empleada en los equipos, la tasa de velocidades en bits, capacidad en Mbps, factor de sobreventa, cantidad de usuarios simultáneos, densidad de los datos, logrando una capacidad por BTS de 23.12 Mbps.

Asimismo, según **ANDRÉS BILLY BALTAZAR ARRESE (2013)** en su tesis titulada, “Diseño De Una Red LTE En La Ciudad De Trujillo”, nos dice:

La demanda de los usuarios por mayores velocidades de acceso ha incrementado considerablemente. Las redes inalámbricas deben ofrecer mayores velocidades de datos con el fin de que los usuarios puedan ser tener acceso a todas las aplicaciones que actualmente se ofrecen en el mercado de las telecomunicaciones. Las redes inalámbricas deben ser capaces brindar velocidades similares a las que ofrecen las redes fijas.

En este sentido diferentes organizaciones han desarrollado estándares que permitan ofrecer al usuario un mayor servicio. En 3GPP el sistema es llamado EUTRA, también es ampliamente conocida como LTE (Long Term Evolution). LTE se basa en la tecnología de acceso OFDMA (para el enlace de bajada) y SC-FDMA (para el enlace de subida). 3GPP2 denominó a su sistema UMB (Ultra Mobile Broadband). El cual es una evolución de la familia cdma2000.

Adicionalmente, el comité de estándares de la IEEE 802 LAN/MAN introdujo el estándar IEEE 802.16, el cual es comúnmente denominado WiMAX. Los atributos de la interfaz de radio para UMB y WiMAX son muy similares a los de LTE. Los tres sistemas son compatibles con anchos de banda flexibles, multiplexación FDD/TDD, OFDMA en el enlace descendente y esquemas MIMO. Hay algunas diferencias, tales como enlace ascendente de LTE se basa en la SC-FDMA en comparación con OFDMA en Mobile WiMAX y UMB. El objetivo de todos estos sistemas es ofrecer a los usuarios una experiencia de banda ancha móvil que puede

acercarse a la de las actuales redes de acceso fijas, tales como la Línea de Abonado Digital Asimétrica (ADSL).

Como conclusiones menciona que:

- La elección de la tecnología está basada en la necesidad de ofrecer una tasa de transmisión que esté acorde a las necesidades de los usuarios de la telefonía móvil, las mismas que actualmente no son cubiertas por las redes 2G y 3G.
- El despliegue de esta red no presentara dificultades geográficas para la instalación de los equipos puesto que las estaciones seleccionadas se encuentran en una zona rural. Lo cual aligera los trabajos del personal de operación y mantenimiento.
- En relación al análisis económico, se observa que la inversión a realizar será alta, pero presenta una rentabilidad a corto plazo. Además, permitirá a la empresa ser líder en el rubro de las telecomunicaciones logrando la satisfacción de los clientes.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

✓ Diseñar una red LTE-4G Outdoor de la empresa América Móvil Perú S.A.C para la provincia de Sechura.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

✓ Realizar el diseño esquemático de cada una de las partes que conforman la cabecera de Red LTE-4G considerando su correcto balance de señales.

✓ Explicar cada uno de los procesos inmersos en la transmisión de información en una red LTE-4G y el funcionamiento de cada uno de los equipos empleados en el diseño de la Red.

✓ Describir y evaluar el costo de la implementación del proyecto.

#### 1.4. JUSTIFICACION DEL PROYECTO

Está presente investigación se justifica, ya que en el avance vertiginoso de las telecomunicaciones es necesario proponer un diseño de una red 4G-LTE para la ciudad de Sechura, de tal forma de que al implementarse esta red se pueda atender a toda la provincia de Sechura, sobre todo las zonas más alejadas y de interés social.

Su justificación está centrada en la problemática de cobertura de red LTE en los distintos lugares de la provincia de Sechura, esto debido a la carencia de red HFC para cubrir estas zonas, A partir de aquello surge la necesidad de diseñar una red inalámbrica de tipo outdoor para cubrir estas necesidades de servicios de telecomunicaciones, siendo una solución para cubrir todos los servicios de telefonía, cable e internet.

Es importante ya que debido a los frecuentes cambios en las comunicaciones móviles sumados al auge inmobiliario en los últimos años hacen complicado que las redes *indoor* satisfagan las necesidades de cobertura y capacidad al interior de cada edificación; esto se debe a la limitante físico propio de las ciudades modernas que generan mayores retos a los diseñadores de redes celulares. Es por ello que surgen las redes *outdoor*, como una solución para cubrir estas necesidades en lugares específicos con déficit de cobertura y alto tráfico de usuarios como: Centros comerciales, Empresas, Domicilios etc; para así, mejorar el servicio y descongestionar la red *indoor*.

También es importante ya que como investigador me permite aplicar todos los conocimientos adquiridos en la carrera profesional, siendo una enorme motivación personal poder aportar mis conocimientos en beneficios de la población sechurana.



## **1.5. METODOLOGIA**

### **1.5.1. METODO, DISEÑO Y TIPO DE LA INVESTIGACION**

Se proporcionará datos estadísticos, simulaciones entre otras cosas. Para escoger las variables de diseño se buscará información demográfica a la cual será necesaria para determinar las posibles ubicaciones de nuestras estaciones.

De acuerdo con el propósito, la naturaleza de la problemática y el objetivo formulado, en la investigación el método a utilizar será el inductivo predictivo, puesto que es una red que no se implementará, sin embargo, se quiere demostrar que su investigación resolvería la problemática planteada en la justificación.

Este tipo de investigación descriptiva tiene como finalidad u objetivo principal la solución de problemas prácticos, lo cual implica intervención o modificación de la propia realidad; se pretende demostrar la utilidad de la intervención que se realizará.

### **1.5.2. COBERTURA DEL ESTUDIO**

#### **1.5.2.1. POBLACION**

La población serán todos los miembros de la Provincia de Sechura, dado a que las zonas rurales de esta, no cuentan con el servicio de Internet se pretende diseñar una Red Inalámbrica 4G-LTE de Internet de Banda Ancha con la finalidad de satisfacer a toda la población, y así poder disfrutar de una mejor calidad de servicio.

#### **1.5.2.2. MUESTRA**

Se realizará un diseño de una red inalámbrica utilizando la tecnología 4G-LTE para proveer el servicio de internet de banda ancha y telefonía en la Provincia de Sechura.

## **1.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS Y/O RESULTADOS**

### **1.6.1.1. TÉCNICAS**

- ✓ Diseño para una Red de banda ancha 4G-LTE tipo outdoor.
- ✓ Recolección de Información (Datos estadísticos, simulaciones, análisis, entre otras cosas).

### **1.6.1.2. INSTRUMENTOS**

- ✓ Guía de parámetros obtenidos
- ✓ Software (Radio Mobile, Google Earth), Datasheets de los equipos.

## **CAPITULO II: MARCO TEORICO**

### **2.1 LAS COMUNICACIONES INALAMBRICAS**

Las comunicaciones inalámbricas o sin cables son o es aquella en la que la comunicación (emisor/receptor) no se encuentra unida por un medio de propagación física, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. En este sentido, los dispositivos físicos sólo están presentes en los emisores y receptores de la señal.

En los últimos años se ha visto un sorprendente desarrollo de las tecnologías de telecomunicaciones. Con la invención de la Radio se marcó un hito en la historia de la humanidad, pues por primera vez podían realizarse comunicaciones sin la utilización de un cable como medio de transporte de la señal, lo que dio origen a las Comunicaciones Inalámbricas. (Danish/J, 2017)

Entre algunas de estas comunicaciones inalámbricas, tenemos:

#### **2.1.1 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS SATELITALES**

Los satélites de comunicación son capaces de transmitir y recibir señales que transportan información en forma analógica o digital de alta calidad. La mayoría de los satélites de comunicación son estacionarios (giran en una órbita a la misma velocidad de rotación que la tierra, es decir siempre están en el mismo punto con respecto a la tierra) y a una altura de 36.000Km. Al ser geoestacionarios las antenas de la tierra siempre apuntan directamente hacia el satélite correspondiente. La emisión de las señales se hace desde una antena en la tierra, la recibe el satélite y envía las señales a otra antena situada en otro punto de la tierra (receptor final).



**Fig. 2.1 Comunicaciones Satelitales**

*Fuente: <http://www.areatecnologia.com/electronica/sistemas-inalambricos.html>*

### 2.1.2 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS POR WIFI

Fue creado para ser utilizado en redes locales inalámbricas y ahora también se utiliza para acceder a internet (recordar que en informática se transmiten los datos en forma de bits). Estas redes pueden transmitir hasta 100Mbps (Mega bits por segundos) aunque cada poco se investiga para poder transmitir más datos por segundo y así conseguir redes más rápidas. En estas redes, como en todas las demás, debemos tener un emisor de señales wifi, normalmente un router wifi, y los receptores deben tener un receptor wifi que reciba la señal y la transforme. El router sería el punto de acceso a la red wifi.



**Fig. 2.2 Comunicaciones por Wifi**

*Fuente: <http://www.areatecnologia.com/electronica/sistemas-inalambricos.html>*

### **2.1.3 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS POR BLUETOOTH**

También es un sistema inalámbrico, pero solo utilizado para cortas distancias. En este tipo de transmisión el emisor debe de estar dentro de la cobertura del receptor para poder establecer una comunicación entre ellos y el número máximo de unidades bluetooth que pueden comunicarse entre si es de 8. En el caso de wifi se requieren puntos de acceso wifi para conectarse, pero con bluetooth solo se requieren dos unidades que tengan bluetooth para poder interconectarse. En el dibujo vemos como se conectan directamente un móvil con unos altavoces (los dos con bluetooth lógicamente) y sin necesidad de un punto de acceso intermedio entre los dos.

### **2.1.4 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS POR GPS**

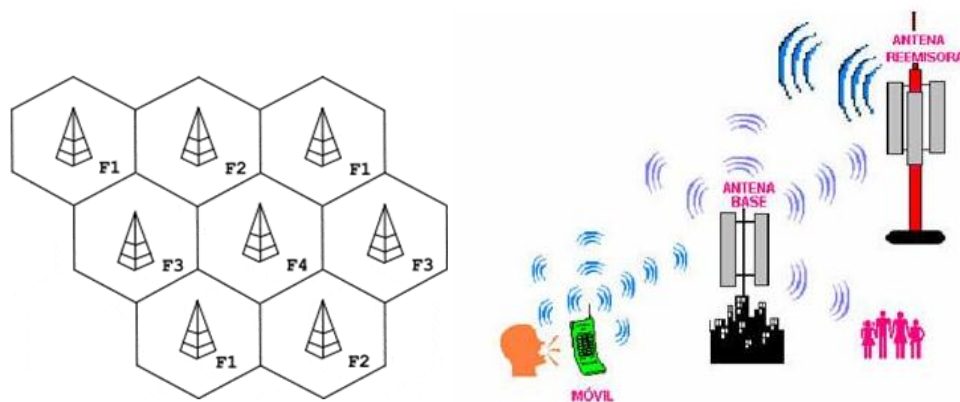
Es un sistema de orientación y navegación basada en la recepción de las informaciones emitidas por 24 satélites, que están en órbita a 20.200 Km. Se encuentran dispuestos de tal forma que siempre tenemos 4 satélites a la vista en cualquier zona de la tierra. Los satélites conocen en todo momento la posición del receptor GPS situado en la tierra.

### **2.1.5 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS POR TELÉFONO MÓVIL**

La telefonía móvil básicamente está formada por dos grandes partes: una red de comunicaciones (o red de telefonía móvil) que está compuesta de antenas repartidas por la superficie terrestre y de los terminales (o teléfonos móviles) que permiten el acceso a dicha red. Tanto las antenas como los terminales son emisores-receptores de ondas electromagnéticas con frecuencias entre 900 y 2000 MHz. Realmente el teléfono móvil es más parecido a una radio que a un teléfono por cable. La diferencia es que usa una frecuencia para hablar y otra para escuchar, lo que permite una conversación normal.

Cuando un teléfono hace una llamada, lo que hace es intentar buscar el teléfono móvil receptor mediante la central de conmutación de la estación

base más cercana (a la que pertenece el móvil emisor). La central de conmutación es la encargada de derivar las llamadas a los destinos deseados, tanto si llamamos como si recibimos una llamada.



**Fig. 2.3 Comunicaciones por telefonía móvil**

*Fuente: <http://www.areatecnologia.com/electronica/sistemas-inalambricos.html>*

Resumiendo, la comunicación por telefonía móvil consta de 3 partes fundamentales:

- 1) Estaciones base:** son las encargadas de transmitir y recibir la señal.
- 2) Centrales de conmutación:** son las que permiten la conexión entre dos terminales concretos. Probablemente al lector le venga a la cabeza la simpática imagen de la operadora conectando llamadas bajo un fondo blanco y negro. Hoy en día la conmutación es digital, electrónica y totalmente automatizada
- 3) Teléfonos móviles:** son los encargados de recoger o enviar la señal a la estación base.

La telefonía móvil se divide en 4 generaciones:

- **Primera generación 1G:** son móviles analógicos y solo se podían utilizar para voz.
- **Segunda generación GSM:** el primer sistema con tecnología digital. Esta tecnología permitía casi duplicar la velocidad de transmisión con respecto al 1G.
- **Tercera generación 3G:** Permite disponer de banda ancha para telefonía móvil (transmitir gran cantidad de datos o gran velocidad), teniendo la posibilidad de transmitir imágenes, sonidos videoconferencias,

etc. Los terminales de esta generación se llaman UMTS por ser este el nombre de la tecnología que utilizan para su funcionamiento.

- **La cuarta generación** son los **Teléfonos 4G** con velocidades 10 veces mayores que la 3G.

## **2.2 CONCEPTOS GENERALES DE TECNOLOGIA 4G – LTE**

Las tecnologías de la información y las comunicaciones en general y las comunicaciones móviles en particular tienen una incidencia decisiva en el crecimiento económico, la competitividad y la mejora de la productividad. El terminal móvil ha llegado a constituir hoy en día una parte esencial en la esfera de objetos personales. En este contexto, la industria de las comunicaciones móviles ha venido aportando soluciones al mercado, en la forma de sucesivas generaciones de sistemas. La globalización de los mercados y la búsqueda de economías de escala son algunos de los principales argumentos (esgrimidos ya en la concepción de la segunda generación de comunicaciones) que justifican el interés y el desarrollo de sistemas estándares, resultado del consenso entre los diferentes agentes implicados. Así, los diferentes organismos y foros de estandarización adquieren una relevancia muy significativa en el marco general del negocio de las comunicaciones móviles. Los procesos de estandarización son costosos en tiempo y esfuerzo. Típicamente se inician con una primera fase en la que se establecen los requisitos que debe satisfacer el diseño del sistema que se pretende estandarizar. Tras ello, se decide la arquitectura del sistema, con sus principales bloques y correspondientes interfaces. Sobre ello, se procede a la especificación detallada, así como el test y la verificación que pueden iniciarse cuando las especificaciones alcanzan ya un alto nivel de estabilidad. El proceso es iterativo.

Por ejemplo, pueden añadirse, modificarse o eliminarse requisitos a la vista de las soluciones técnicas que se vayan formulando. Similarmente, pueden modificarse las soluciones técnicas si se evidencian dificultades en la verificación práctica.

Las siglas LTE vienen del término inglés Long Term Evolution, o lo que es lo mismo en español, Evolución a Largo Plazo. LTE es



una tecnología de transmisión de datos de banda ancha inalámbrica que está principalmente diseñada para poder dar soporte al constante acceso de teléfonos móviles y de dispositivos portátiles a internet.

La tecnología LTE pretende ser la evolución del 3G y parece que pronto podría ser la más utilizada y la más similar a la tecnología 4G. LTE es compatible con dispositivos 4G pero no con los 3G. De hecho, los móviles o tablets más avanzados verás que incorporan la llamada tecnología 4G LTE. Esta tecnología LTE promete grandes ventajas para los usuarios sobre todo en lo relacionado a la velocidad de descarga y carga de datos, o lo que es lo mismo, transferencia de datos.

### **2.2.1 LTE**

El sistema de banda ancha móvil LTE es una tecnología de cuarta generación desarrollada por la asociación 3GPP y adoptada por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI).

Actualmente, el enfoque del proyecto LTE se dirige a tener un rendimiento tres o cuatro veces mayor al de HSDPA en el enlace de bajada (100 Mbps) y dos o tres veces mayor al de subida (50 Mbps).

Para el año 2008, las especificaciones de 3GPP eran lo suficientemente estables para el inicio de LTE, por lo que se lanzó la especificación número 8. Sin embargo, en el año 2009 apareció una especificación número 9 en la que se le daban mejoras al estándar. (Andrea, 2008)

#### **Motivaciones LTE:**

- ✓ La necesidad de asegurar la competitividad de los sistemas 3G para el futuro.
- ✓ La demanda de los usuarios por tasas de datos más altas y mayor calidad de servicio.
- ✓ Un sistema optimizado para la conmutación de paquetes.
- ✓ La demanda continua de la reducción de costos.
- ✓ Baja complejidad.

- ✓ Evitar fragmentación innecesaria de tecnologías para la operación de banda.

### **2.2.2 LTE AVANZADA**

Para la segunda mitad del año 2009 el 3GPP hizo una especificación referente a la propuesta de la ITU. Esta especificación número 10 evalúa LTE y LTE avanzada como candidatas para lo que se denomina IMT-avanzadas, lo que identifica a un sistema móvil capaz de superar a IMT-2000.

Para lograr este nuevo objetivo, 3GPP ha incluido el desarrollo de sistemas más avanzados que los de 3G. Algunos de los parámetros claves de las IMT avanzadas serán:

- ✓ Funcionalidad y roaming a nivel mundial.
- ✓ Compatibilidad de servicios.
- ✓ Interoperabilidad con otros sistemas de acceso por radio.
- ✓ Tasas de datos mejoradas para soportar servicios avanzados y aplicaciones (100 Mbps para movilidad alta y 1 Gbps para baja
- ✓ movilidad)

Además de los parámetros especificados, una de las mayores razones para anexar LTE a las IMT-avanzadas es que los sistemas que conforman las IMT serán candidatos para futuras bandas nuevas de espectro que serán identificadas como WRC07.

#### **Propuestas para LTE Advanced:**

- ✓ Varios conceptos para repetidores
- ✓ Soluciones de antena UE Dual TX para SU-MIMO y diversidad MIMO
- ✓ Sistema escalar de ancho de banda excediendo los 20 MHz, potencialmente hasta los 100 MHz
- ✓ Optimización del área local de la interfaz aérea
- ✓ Red nómada y de área local y soluciones de movilidad
- ✓ Uso del espectro flexible
- ✓ Radio cognitiva

- ✓ Configuración y operación de red de forma automática y autónoma
- ✓ Precodificado mejorado y corrección de errores hacia adelante
- ✓ Administración y supresión de interferencias
- ✓ Asignación del ancho de banda asincrónico para FDD
- ✓ OFDMA y SC-FDMA híbrido en enlace de subida
- ✓ MIMO coordinado UL/DL inter eNB

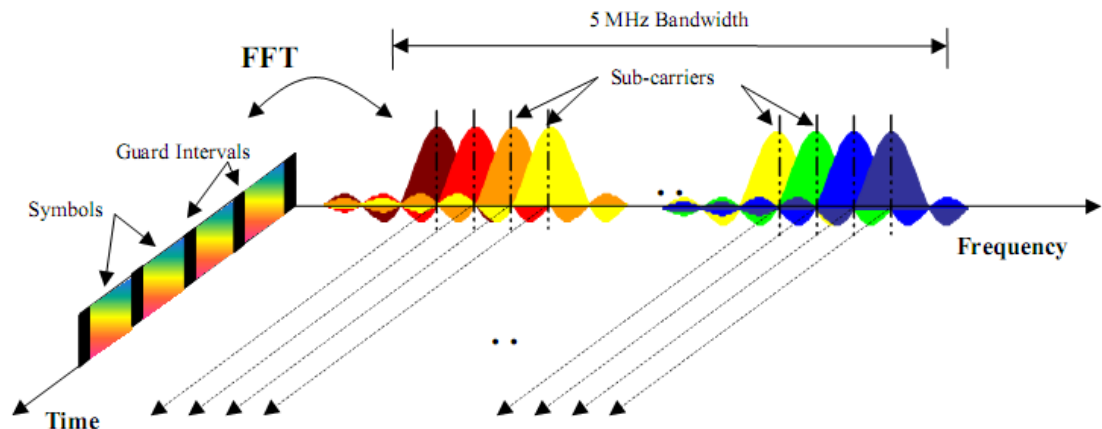
## **2.3    PARAMETROS RELEVANTES DEL 4G – LTE.**

LTE es una solución de banda ancha móvil que ofrece varias características con mucha flexibilidad en términos de despliegue y servicios potenciales. Algunos de los parámetros más importantes que merecen ser mencionados son los siguientes:

### **2.3.1    TECNICAS DE MULTIPLE ACCESO OFDM Y OFDMA**

La modulación por división ortogonal de frecuencia, en inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), también llamada modulación por multitono discreto, en inglés Discrete Multitone Modulation (DMT), es una modulación que consiste en enviar la información modulando en QAM o en PSK un conjunto de portadoras de diferente frecuencia. Normalmente se realiza la modulación OFDM tras pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión, entonces esta modulación se denomina COFDM, del inglés Coded OFDM. Debido al problema técnico que supone la generación y la detección en tiempo continuo de los cientos, o incluso miles, de portadoras equiespaciadas que forman una modulación OFDM, los procesos de modulación y demodulación se realizan en tiempo discreto mediante la IDFT y la DFT respectivamente. La modulación OFDM es muy robusta frente al multitrayecto, que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente al desvanecimiento debido a las condiciones meteorológicas y frente a las interferencias de RF. Debido a las características de esta modulación, las distintas señales con distintos retardos y amplitudes que llegan al receptor contribuyen positivamente a la

recepción, por lo que existe la posibilidad de crear redes de radiodifusión de frecuencia única sin que existan problemas de interferencia.



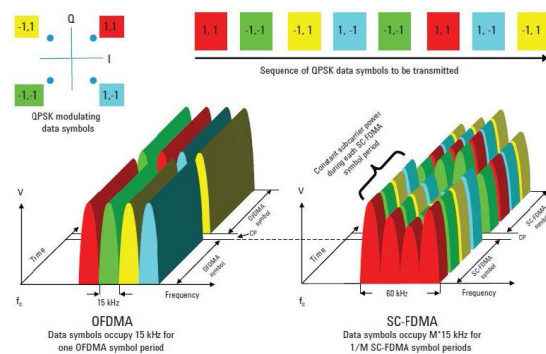
**Fig. 2.4 Señal OFDM en el tiempo**

*Fuente:*

[http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5\\_MODULACION\\_OFDM.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5_MODULACION_OFDM.pdf)

El OFDMA, que traducido significa Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales, es una elaboración de la OFDM utilizada por LTE y otros sistemas que incrementa la flexibilidad del acceso de los usuarios al sistema mediante la multiplexación de varios usuarios en las mismas sub-portadoras.

El OFDMA es utilizado para el enlace descendente con el objetivo de contrarrestar la interferencia de multitrayectoria en el canal de radio y proveer una mayor eficiencia espectral ya que no se necesitan bandas de guarda. (Andrea, 2008)



**Fig.2.5 Multiplexación OFDMA**

*Fuente:*

[http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5\\_MODULACION\\_OFDM.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5_MODULACION_OFDM.pdf)

La diferencia entre OFDM y OFDMA tiene la capacidad para asignar dinámicamente un subconjunto de las subportadoras a los usuarios individuales, haciendo de ésta la versión multiusuario de OFDM (OFDMA soporta simultáneamente múltiples usuarios mediante la asignación de los subcanales específicos para los intervalos de tiempo). En la figura 9 se muestra la diferencia entre OFDM y OFDMA.

Uno de los parámetros clave que afecta a todos los móviles es el de la duración de las baterías. A pesar de que si rendimiento esta mejorado al largo del tiempo, todavía es necesario asegurar que los móviles utilicen la menor cantidad posible de energía de la batería. Por ello, los terminales han de operar de modo eficiente en las etapas de amplificación de potencia. El resultado puede verse afectado significativamente por la modulación de radio frecuencia (RF) y el formato de la señal, ya que las señales que tienen una relación alta de potencia de pico a potencia media no se prestan para el uso eficiente de los amplificadores de potencia radio. Desafortunadamente, como ya hemos comentado, OFDM tiene una relación PAPR alta el terminal móvil. Como resultado, LTE utiliza para el UL un esquema de modulación conocido como SC-FDMA que es un formato híbrido.

### **2.3.2 TECNICA SC – FDMA**

Para el enlace ascendente, LTE se basa en la técnica de Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Portadora Simple.

Esta técnica es una variante de la OFDM con la diferencia de que permite un menor consumo de energía y el uso de amplificadores menos costosos en el terminal.

La duración de la batería de los móviles está aumentando todo el tiempo, sin embargo, es necesario conseguir que el móvil ocupe su energía lo menos posible. El amplificador de radiofrecuencia que transmite las señales hacia las antenas de la estación base es el elemento de mayor potencia por lo que es necesario que este trabaje de la manera más eficiente con un nivel de potencia constante.

Desafortunadamente la OFDM tiene picos de potencia que en la estación base no representa un problema, pero es inaceptable para un móvil. Por eso LTE utiliza el esquema de modulación SC-FDMA para la comunicación del móvil a la estación base. Esta técnica combina los picos bajos que ofrecen los sistemas de portadora simple y la disminución de la interferencia por multitrayectoria que ofrece la OFDM.

Como ya se ha dicho, en LTE se utiliza la técnica OFDMA para el enlace descendente. Esta técnica presenta un mal PAPR, no obstante, ese problema se soluciona con amplificadores de alta linealidad, aunque esto requiera el consumo de más potencia. Sin embargo, en el terminal del usuario es crítico reducir el consumo de potencia, por lo que se utiliza una técnica de acceso de portadora única. SC-FDMA es una nueva técnica de modulación híbrida, que combina la robustez frente a la propagación multicamino y flexibilidad de ubicación de las subportadoras propia de los sistemas OFDM con menor PAPR propia de las modulaciones con portadora única. Esta tecnología reduce el nivel de los picos de potencia en el dominio del tiempo, pero aumenta la potencia radiada fuera de banda en el dominio frecuencial. También genera una pérdida de sensibilidad entre 2 y 3 dB en canales con desvanecimientos. Finalmente mencionar que esta técnica permite dos modos de mapeo de las subportadoras. Uno de ellos es el modo localizado, el cual hace que los usuarios tengan subportadoras contiguas. Este es el modo de operación elegido para LTE.



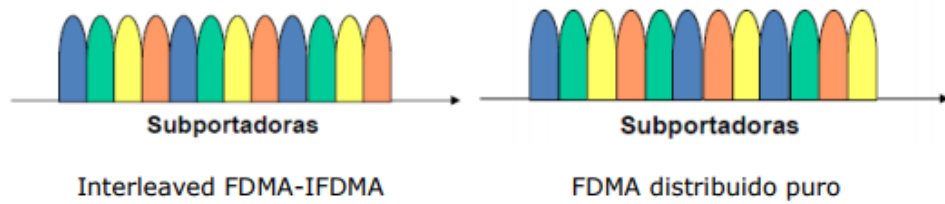
**Fig. 2.6 SC-FDMA modo Localizado**

*Fuente: Fuente:*

*[http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5\\_MODULACION\\_OFDM.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5_MODULACION_OFDM.pdf)*

El otro modo es el distribuido, que tiene dos formas de operar. Una de ellas se denomina interleaved FDMA-IFDMA, el cual se caracteriza en que las subportadoras son equidistantes unas de otras. La otra forma de operar

se denomina FDMA distribuido puro, en el cual no hay una distribución uniforme de las subportadoras en la banda disponible.



**Fig. 2.7 SC-FDMA modo Distribuido**

*Fuente: Fuente:*

[http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5\\_MODULACION\\_OFDM.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5_MODULACION_OFDM.pdf)

### 2.3.3 TECNOLOGIAS TDD Y FDD

La duplexación por división de tiempo (Time-Division Duplexing, TDD) es una técnica para convertir un canal simplex en un canal dúplex separando las señales enviadas y recibidas en intervalos de tiempos diferentes sobre el mismo canal usando acceso múltiple por división de tiempo.

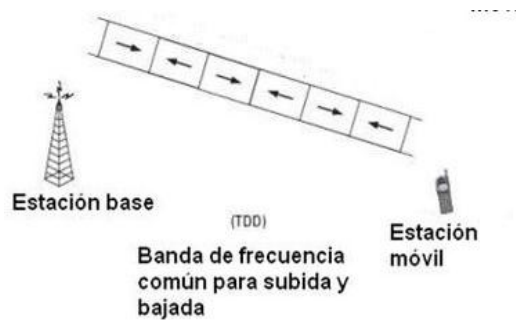
La duplexación por división de tiempo tiene una gran ventaja en los casos en los que hay asimetría entre la velocidad del uplink y el downlink. Según aumenta la cantidad de data en el uplink, más capacidad de comunicación puede ser destinada a este, y si por el contrario el tráfico se vuelve más ligero, se puede reducir su capacidad. Lo mismo puede hacerse con el downlink.

Para sistemas de radio que no se mueven rápidamente, otra ventaja es que la ruta de las ondas del uplink y el downlink son muy similares. Esto significa que técnicas como la formación de rayo trabajan bien con sistemas TDD.

Ejemplos de duplexación por división de tiempo son:

- ✓ Las interfaces suplementarias de UMTS 3G, TD-CDMA para telecomunicaciones en interiores.
- ✓ El TD-LTE 4G chino, la interfase para comunicaciones móviles TD-SCDMA 3G.
- ✓ La telefonía inalámbrica DECT.
- ✓ Las redes de paquetes semi-dúplex basadas en acceso múltiple por detección de portadora, por ejemplo ethernet de dos cables o ethernet a través de un concentrador, redes y bluetooth, pueden ser consideradas como sistemas de duplexación por división de tiempo, aunque no TDMA con marcos de ancho fijo. (<https://ingetelecom.files.>)





**Fig. 2.8 Esquema de tecnología TDD**

*Fuente: <https://ingetelecom.files>.*

La Duplexación por división de frecuencia (Frequency division duplexing - FDD) puede ser eficiente en el caso de tráfico simétrico. En este caso la duplexación por división de tiempo tiende a desperdiciar ancho de banda durante el cambio de transmisión a recepción, tiene una mayor latencia inherente, y puede requerir circuitería más compleja.

Otra ventaja de la duplexación por división de frecuencia es que hace el planeamiento de radio mucho más fácil y más eficiente, porque las estaciones bases no se "escuchan" entre ellas (transmiten y reciben en diferentes sub-bandas) y por lo tanto normalmente no se interfieren entre ellas. Otra ventaja de la duplexación en frecuencia sobre la de tiempo es que en la duplexación por división de tiempo se deben usar tiempos de guardia entre estaciones bases vecinas (lo que decrementa la eficiencia en el uso del espectro) o se necesita sincronizar estaciones bases, para que puedan transmitir y recibir al mismo tiempo (lo que incrementa la complejidad y por lo tanto el costo, y reduce la flexibilidad de uso de ancho de banda porque todas las estaciones bases y sectores estarán forzados a usar la misma relación uplink/downlink).

Como desventaja tiene el hecho de tener que recurrir a buenos filtros separadores de frecuencia (ya que se tratan normalmente de bandas conexas). Este tipo de filtros reciben el nombre de duplexores.

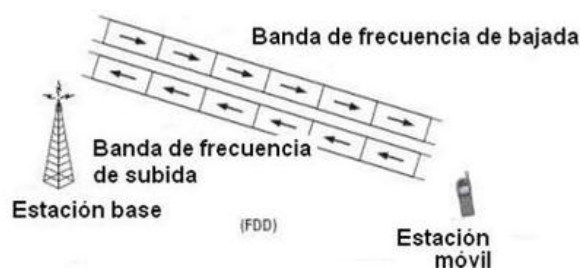
Un duplexor es un dispositivo de radio que permite a alguien transmitir mensajes y también recibirlos con una sola antena. Esto se hace dividiendo las funciones de transmisión y recepción para que no se interfieran durante sus funciones. Mientras que dos son separadas, el duplexor solo funcionará bien si las dos están sintonizadas a la misma frecuencia. De otra manera

podría haber problemas. Dos o más circuitos son necesarios para poder aislar correctamente las dos señales. Esto generalmente tiene mucho que ver con la calidad con la que opera el dispositivo.

Una radio normalmente solo puede enviar mensajes o recibirlos, y los que pueden hacer ambas cosas necesitan dos antenas o usar un transceiver. Con un duplexor, una radio es capaz de enviar y recibir mensajes con una sola antena. Esto reduce la cantidad de partes que se necesitan en la radio y hace más fácil la comunicación. Si una radio normal intenta hacer esto con una sola antena, puede haber una sobrecarga e incluso estropear la radio. Un duplexor evita este problema dividiendo las funciones y haciendo que actúen como dos elementos separados.

Ejemplos de sistemas de duplexación por división de frecuencia son:

- ✓ ADSL y VDSL
- ✓ La mayoría de los sistemas celulares, incluyendo el modo de duplexación por división de frecuencia UMTS/WCDMA y el sistema CDMA2000.



**Fig. 2.9 Esquema de tecnología FDD**

*Fuente: <https://ingetelecom.files>.*

Dado que el hardware para FDD y TDD de LTE es el mismo, excepto por la unidad de radio, los operadores del TDD serán por primera vez capaces de disfrutar de economías de escala contando con un amplio soporte de productos FDD.

La 3GPP ha definido para uso de LTE 15 bandas de frecuencia distintas para FDD y 8 bandas para TDD.

Desde los comienzos se ha pensado en que LTE soporte múltiples bandas de frecuencia, lo que quiere decir que tiene la capacidad de alcanzar rápidamente altas economías de escala y cobertura global.

LTE está definida para soportar anchos de banda de portadora flexibles desde 1.4 MHz a 20 MHz en varias bandas del espectro y el despliegue tanto de FDD como TDD. Esto quiere decir que un operador puede introducir LTE en bandas nuevas o en bandas ya existentes haciendo que su despliegue implique todas las bandas celulares. A diferencia de anteriores sistemas celulares, LTE abarca rápidamente múltiples bandas.

#### **2.3.4 TECNOLOGIA MIMO**

MIMO, acrónimo en inglés de Multiple-Input Multiple-Output (en español, Múltiple entrada, Múltiple salida) surge como la tecnología que promete resolver muchos de estos problemas en un futuro inmediato, ofreciendo mayores tasas de transferencia, mayores distancias de cobertura, mayor capacidad de usuarios y más fiabilidad; y todo ello sin aumentar el ancho de banda, y la potencia transmitida.

El sistema MIMO utiliza múltiples antenas tanto para recibir como para transmitir. Una transmisión de datos a tasa elevada se divide en múltiples tramas más reducidas. Cada una de ellas se modula y transmite a través de una antena diferente en un momento determinado, utilizando la misma frecuencia de canal que el resto de las antenas. Debido a reflexiones por multitrayectoria, en recepción la señal a la salida de cada antena es una combinación lineal de múltiples tramas de datos transmitidas por cada una de las antenas en que se transmitió.

Las tramas de datos se separan en el receptor usando algoritmos que se basan en estimaciones de todos los canales entre el transmisor y el receptor. Además de permitir que se multiplique la tasa de transmisión (al tener más antenas), el rango de alcance se incrementa al aprovechar la ventaja de disponer de antenas con diversidad.

La teoría de la capacidad inalámbrica, extiende el límite del teorema de Shannon, en el caso de la utilización de esta tecnología. Este resultado teórico prueba que la capacidad de transmisión de datos y rango de alcance de los sistemas inalámbricos MIMO se puede incrementar sin usar más espectro de frecuencias. Este aumento es de carácter indefinido, simplemente utilizando más antenas en transmisión y recepción y teniendo una calidad de canal aceptable. MIMO requiere la existencia de un número

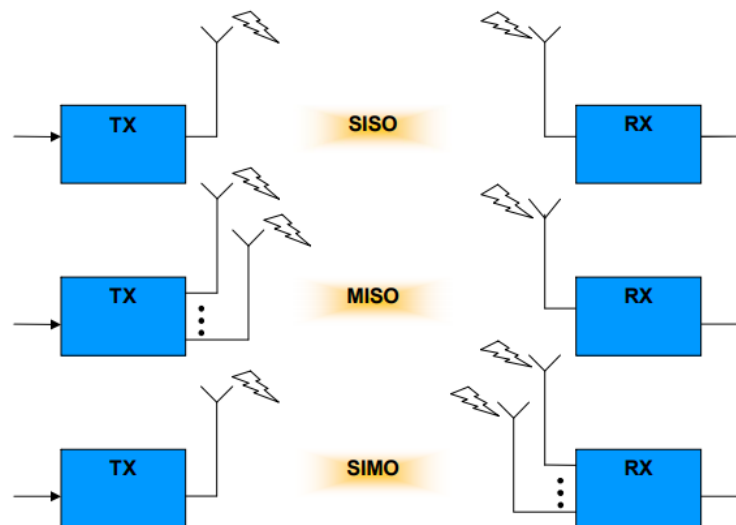
de antenas idéntico a ambos lados de la transmisión, por lo que en caso de que no sea así, la mejora será proporcional al número de antenas del extremo que menos antenas tenga (Fernández, 2013)



**Fig. 2.10 Diagrama de un sistema MIMO**

*Fuente: Fernández, 2013*

Dependiendo del número de antenas en transmisión y en recepción, los sistemas reciben distintos nombres: SISO (Una antena en transmisión y una en recepción), SIMO (Una antena en transmisión y múltiples en recepción, es un sistema de diversidad de recepción) y MIMO (Múltiples antenas en transmisión y múltiples antenas en recepción).



**Fig. 2.11 Diagrama de un sistema SISO, MISO y SIMO**

*Fuente: Fernández, 2013*

### 2.3.5 BANDA ANCHA

La comunicación de banda ancha se ha convertido en un elemento fundamental para la economía y la sociedad ya que ha cambiado no solo la forma en que la gente trabaja, sino también su forma de vida. Ha permitido el desarrollo de aplicaciones orientadas a una comunicación más fácil y rápida en la que interviene el acceso a la Internet. Considerando la demanda de banda ancha que ha surgido por parte de los usuarios, las

operadoras móviles han atraído al mercado de Internet a través de ofertas de banda ancha móvil. Así han logrado posicionarse como una alternativa competitiva frente a los proveedores de servicios de Internet (ISP) fijos, y actualmente, representan una porción significativa en las comunicaciones globales. (Andrea, 2008)

Prácticamente todos los países del mundo disponen de banda ancha. Las antiguas preocupaciones acerca de la “brecha digital” o la desigual distribución de acceso a Internet o equipos en los diversos países han evolucionado y hoy en día el problema es evitar la creación de brechas digitales en términos de velocidad o calidad de acceso, no sólo en los países en desarrollo, sino en el mundo entero. Dado que la banda ancha será el principal mecanismo de entrega de una amplia gama de servicios esenciales, grupos multi-partidos como la Comisión de la Banda Ancha para el Desarrollo Digital de las Naciones Unidas están fomentando activamente que todos los países den en sus Planes nacionales de banda ancha prioridad al desarrollo de redes fijas y móviles de alta velocidad a fin de cimentar sus previsiones de crecimiento económico a largo plazo y de competitividad en la era de la información. Los últimos estudios sugieren que las TIC y la Internet de banda ancha han crecido más rápido cuando los mercados se han abierto a la competencia.

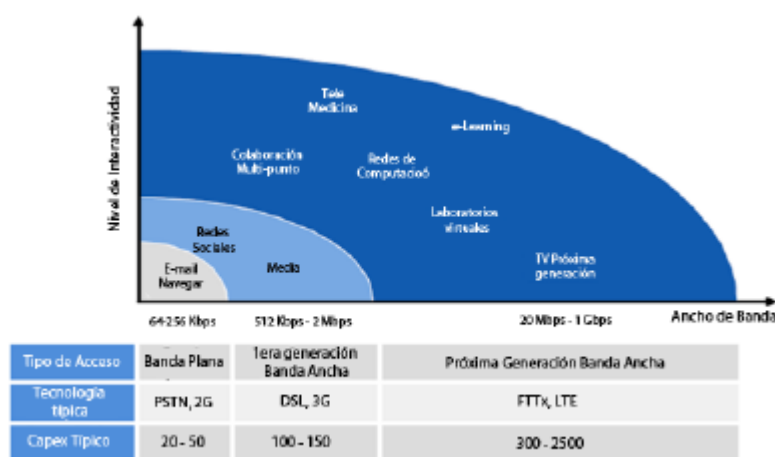
Se cuentan hoy en día 2 600 millones de usuarios de Internet y 1 200 millones de abonos a la banda ancha móvil en todo el mundo, y prácticamente las tres cuartas partes de la población mundial dispone ya de un teléfono móvil. En 2011, el número de dispositivos conectados superó por primera vez a la población mundial. En 2020, el número de dispositivos conectados podría llegar a ser de seis por persona, transformando así nuestro concepto de Internet, y de la sociedad, para siempre.

La banda ancha móvil es una excelente alternativa para la ampliación de los servicios y aplicaciones con el fin de mejorar la comunicación y fortalecer la economía, independientemente de la ubicación. Por eso, LTE es importante para el desarrollo social tanto en áreas urbanas como en áreas suburbanas y rurales.

Los sectores de interés social como educación, salud, seguridad pública y el acceso a los servicios de gobierno son retribuidos

positivamente gracias a las características de la nueva tecnología. Por ejemplo, en algunas partes del mundo se tienen clases interactivas multimedia de forma remota. Los estudiantes tienen acceso a información y la comparten con compañeros desde cualquier lugar y dispositivo. Además, para las empresas, el uso de la nube les permite una mejor asistencia y algunas actividades como videoconferencias y teletrabajo. En temas de seguridad pública se puede mencionar el apoyo de búsqueda y rescate de personal o el control de zonas públicas, entre otros.

En países en los que aún no se cuenta con servicios LTE, se debería buscar un acuerdo entre el gobierno y los proveedores de servicios ya que el interés es común y el gobierno es el que asigna las bandas de espectro a los operadores. El acuerdo debe contener un análisis del espectro adecuado para prestar los servicios dependiendo de la zona a la que está dirigido. Las frecuencias más bajas cubren distancias más largas y son muy recomendables para las zonas rurales y suburbanas, donde hay menos personas para dar servicio; las frecuencias más altas son más utilizadas para las zonas densamente pobladas.



**Fig. 2.12 Ancho de Banda para aplicaciones según su generación.**

*Fuente: <https://es.slideshare.net/foroglobalcrossing/puppy-rojas-banda-ancha-para-todos-mas-all-de-la-infraestructura>*

### 2.3.6 INTERFAZ RADIO DEL SISTEMA LTE

La capa física de la interfaz radio del sistema LTE se basa en la utilización de técnicas de acceso múltiple OFDMA en el enlace descendente y SC-FDMA en el enlace ascendente como ya se ha mencionado. En ambos casos, la separación entre subportadoras es fija e igual a 15 KHz. En la Tabla 2.1 se muestra el número de subportadoras en función de la canalización del sistema LTE:

Canalización	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Subportadoras	73	181	301	601	901	1201

**Tabla 2.1: Relación subportadoras – canalización del sistema LTE**

*Fuente: Huidobro, 2012*

La capa física del sistema LTE está diseñada para que opere en las bandas altas de UHF (Ultra High Frequency), es decir, por encima de los 450 MHz y hasta los 3.5 GHz. El estándar define hasta 40 posibles bandas de operación para trabajar en modo duplexión por división en frecuencia (FDD) o en modo duplexión por división en el tiempo (TDD).

NUMERO DE LA BANDA (Uso FDD)	DESCRIPCIÓN/ NOMBRE	UPLINK (MHz)	Downlink (MHz)
1	Núcleo IMT	1.920 -1.980	2.110-2.170
2	PCS 1900	1.850-1.910	1.930-1.990
3	GSM 1800	1.710-1.785	1.805-1.880
4	AWS (EE.UU.)	1.710-1.755	2.110-2.155
5	850 (EE.UU.)	824-849	869-894
6	850 (JAPON)	830-840	875-885
7	Extensión IMT	2.500-2.570	2.620-2.690
8	GSM 900	880-915	925-960
9	1700 (Japón )	1.750-1.785	1.845-1.880
10	3G Américas	1.710-1.770	2.110-2.170
11	UMTS 1500	1.428-1.453	1.476-1.501
12	US 700	698-716	728-746
13		776-788	746-758
14		788-798	758-768
15		704-716	734-746

**Tabla 2.2: Bandas de frecuencias asignadas a LTE-FDD**

*Fuente: Huidobro, 2012*

Designación de la banda (TDD)	Nombre de la Banda	Asignación
a	TDD 1900	1.900-1.920
b	TDD 2000	2.010-2.025
c	PCS gap Central	1.910-1.930
d	Extensión IMT	2.570-2.620
e	TDD_China	1.880-1.920
f	2.3 TDD	2.300-2.400

**Tabla 2.3: Bandas de frecuencias asignadas a LTE – TDD**

*Fuente: Huidobro, 2012*

Los posibles esquemas de modulación tanto para el enlace descendente como para el ascendente son QPSK, 16-QAM y 64-QAM, dependiendo de la capacidad del terminal móvil.

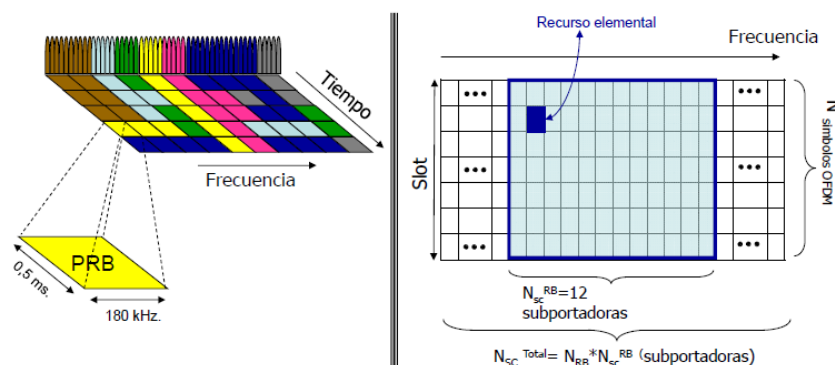
En LTE se denomina PRB (Physical Resource Block), al mínimo elemento de información que puede ser asignado por el eNB a un terminal móvil. Un PRB ocupa 180 kHz de banda equivalente a 12 subportadoras equiespaciadas 15 kHz entre ellas y en él se transmiten 6 o 7 símbolos OFDMA, dependiendo de la longitud del prefijo cíclico. La duración de un PRB es de 0.5 ms, es decir la duración de un slot o ranura de tiempo. Por lo tanto, el número de PRBs depende de la canalización.

Canalización	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Número de RB	6	15	25	50	75	100

**Tabla 2.4: Relación canalización – número de PRB del sistema LTE**

*Fuente: Huidobro, 2012*

Destacar que el número de portadoras disponibles está relacionado con el número de PRBs en cada canal. Por lo tanto, el número de subportadoras es 12 veces el número de PRBs más una, ya que se considera la subportadora central (la de DC) que no se utiliza para transmitir información.





**Fig. 2.13 Concepto del PRB**

*Fuente: Fernández, 2013*

En la Tabla 2.5 se resumen las velocidades de pico en función de la canalización.

Canalización	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Número de RB	6	15	25	50	75	100
Subportadoras	73	181	301	601	901	1201
V. de Pico (Mb/s)	6	15	25	50	75	100

**Tabla 2.5: Velocidades de pico en función de la canalización del sistema LTE**

*Fuente: Huidobro, 2012*

Además de estas bandas, hay otras en estudio por el 3GPP, como son la del dividiendo digital (790-862 MHz), en 3,5 GHz (3.400-3.600) y la de 3,7 GHz (3.600-3.800), que posiblemente, se asignen en cuanto sea posible.

Acabamos de ver que LTE da soporte tanto a operación FDD como TDD, lo que ofrece a los operadores la flexibilidad de ajustar sus redes, espectro y objetivos de negocios existentes para servicios de banda ancha móvil y multimedia.

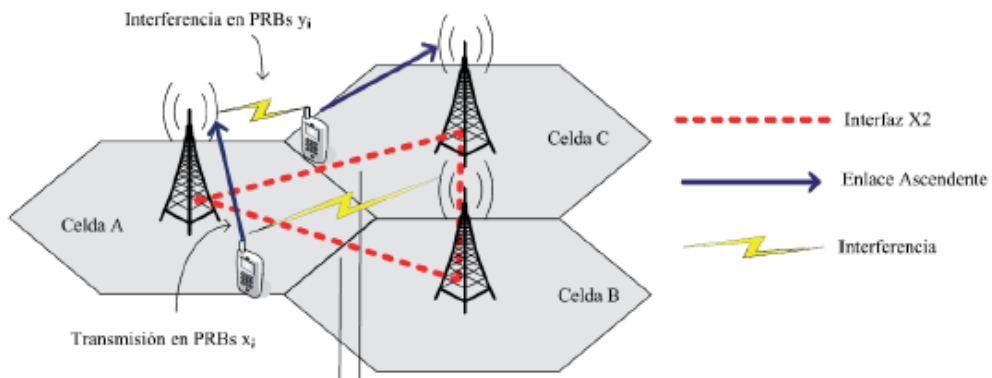
Desde que se crearon con UMTS los modos FDD (División en frecuencias) y TDD (División en tiempo), parece natural que LTE, como evolución de la 3G, siga su ejemplo. Así, mientras que Vodafone, Versión y otros grandes operadores apuestan por LTE FDD, que utilizan varias zonas del espectro de radio (Bandas ascendentes y descendentes), otros impulsan el desarrollo de LTE TDD, que es una migración natural para los operadores TD-SCDMA, también puede resultar una excelente solución para utilizar las grandes franjas de espectro TDD fragmentado y no apareado que están presentes en toda la región Américas.

En caso de llegar a un acuerdo y disponer de móviles – Chip único y redes que funcionen con estas dos especificaciones, ello sería un enorme paso para la industria 4G a nivel mundial, pues se conseguirían economías de escala muy importantes, para conseguir abaratar los productos. (Fernández - 2013)

### 2.3.7 REUSO DE FRECUENCIAS

El esquema de acceso radio de LTE proporciona ortogonalidad entre los usuarios de una misma celda, tanto en el enlace ascendente como descendente. En general, y por ese motivo, las prestaciones de LTE en términos de eficiencia espectral y tasas de transmisión de pico están más limitadas por las interferencias provenientes de celdas vecinas en comparación con lo que sucedía en las tecnologías de tercera generación (3G).

Por lo tanto, cualquier técnica que permita reducir las interferencias entre celdas se traducirá en una mejora en las prestaciones del sistema LTE en términos de calidad de servicio que se pueda ofrecer a usuarios en los límites (bordes) de las celdas. La Figura 2.14 muestra esta situación:



**Fig. 2.14 Interferencia Intercelular de LTE**

*Fuente: Fernández, 2013*

La coordinación de interferencias entre celdas (ICIC) es una técnica integrada en el grupo de funciones del scheduler, mediante la cual se controla el nivel de interferencia que reciben los usuarios en los bordes de las celdas para mejorar parámetros de calidad de servicio, en particular, su tasa de transmisión. Esta técnica implicará aplicar ciertas restricciones en las funciones de scheduling en el dominio de la frecuencia, tanto en el enlace ascendente como descendente, configurando el equivalente a esquemas de reuso en frecuencia distintos para el interior y el exterior de las celdas. La Figura 2.15 muestra posibles esquemas de reuso de frecuencias en LTE: (Fernández, 2013)

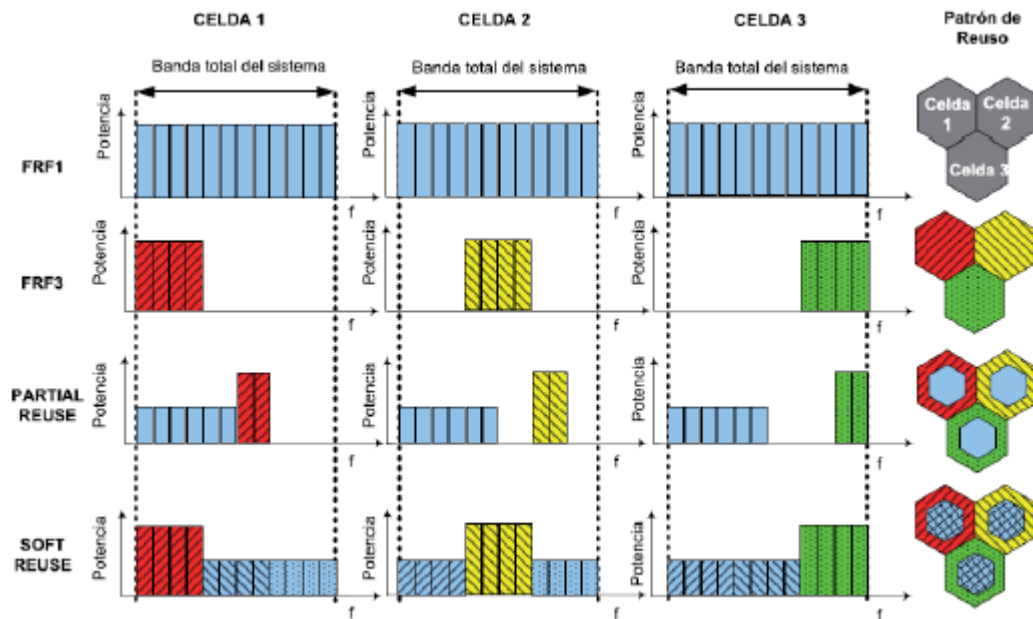


Fig. 2.15 Posibles esquemas de reúso de frecuencias en LTE implementados a través de una estrategia ICIC

Fuente: Fernández, 2013

### 2.3.8 ROAMING

Debido a que LTE será el estándar 4G unificado a nivel mundial, sus dispositivos se pueden configurar para conseguir un eficiente roaming global. Además, LTE debe soportar el roaming entre estándares 2G, 2.5G, 3G y 4G con el fin de garantizar al cliente una experiencia sin fallos.

## 2.4 ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE

### 2.4.1. ARQUITECTURA GENERAL DE LOS SISTEMAS CELULARES.

Se pueden identificar tres elementos principales que constituyen la arquitectura de un sistema de comunicaciones celular.

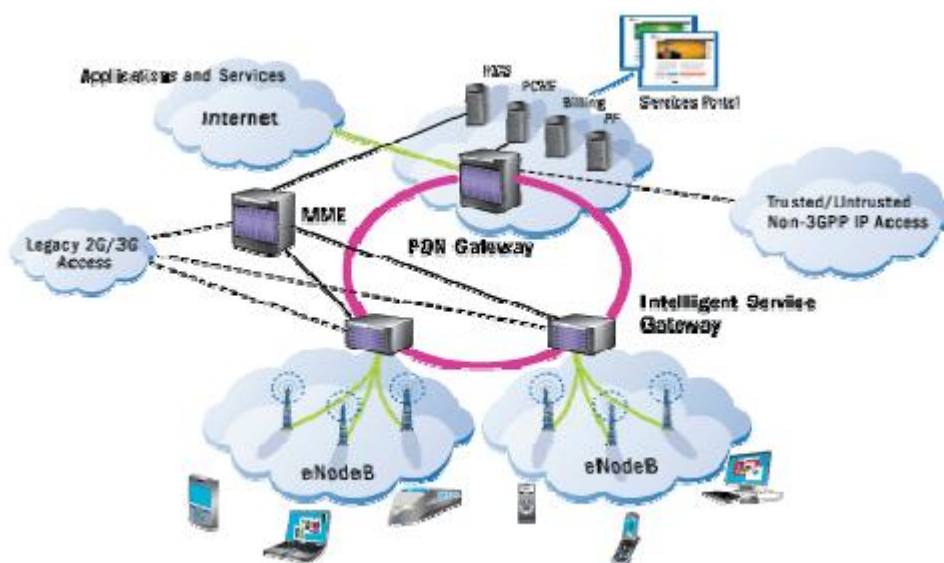
✓ **Equipo de usuario:** Dispositivo que permite al usuario acceder a los servicios que nos ofrece la red. El dispositivo del usuario tendrá una tarjeta inteligente, que comúnmente denominamos tarjeta SIM (Subscribe Identity Module), que contendrá la información necesaria para poder conectarse a la red y poder disfrutar de los servicios que nos ofrece nuestro proveedor de servicio. Se conectará a la red a través de la interfaz radio.

✓ **Red de acceso:** es la parte del sistema que realiza la comunicación, transmisión radio, con los equipos de usuario para proporcionar la conectividad con la red troncal. Es la responsable de gestionar los recursos radio que estén disponibles para ofrecer los servicios portadores de una manera eficiente. La red de acceso está formada por estaciones base y dependiendo de la generación, por equipos controladores de estaciones base.

✓ **Red troncal:** parte del sistema que se encarga del control de acceso a la red celular, por ejemplo la autenticación de los usuarios, gestión de la movilidad de los usuarios, gestión de la interconexión con otras redes, control y señalización asociada al servicio de telefonía, etc. Los equipos que conforman esta red albergan funciones de conmutación de circuitos, routing, bases de datos, etc.

#### **2.4.2. ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA LTE**

En las especificaciones se denomina a la arquitectura del sistema LTE como Evolved Packet System (EPS). La idea es la misma que en las otras generaciones, dividir el sistema en los tres elementos mencionados anteriormente. Un equipo de usuario, una nueva red de acceso que denominaremos E-UTRAN y una red troncal que denominaremos EPC . Todos los componentes que engloban este sistema están diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicación mediante mecanismos de conmutación de paquetes, por lo que no es necesario disponer de un dispositivo que trabaje en modo circuito, ya que en el sistema LTE los servicios con restricciones de tiempo real se soportan también mediante conmutación de paquetes. En la Figura 2.16 vemos un ejemplo de la distribución de la arquitectura del sistema LTE.



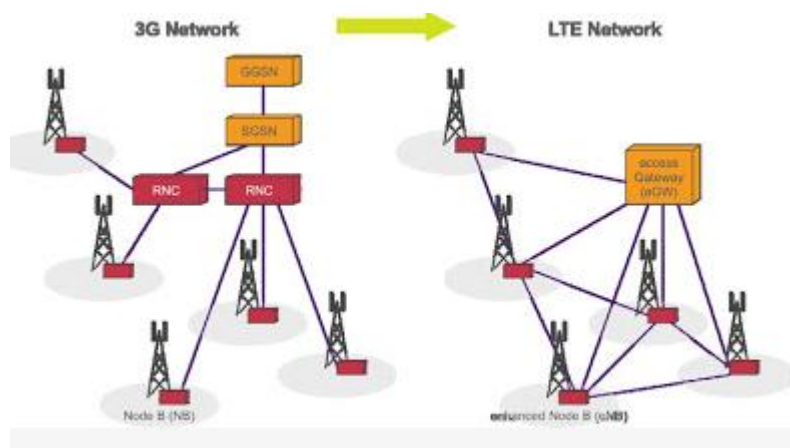
**Fig. 2.16 Esquema general de la arquitectura del sistema LTE**

Fuente: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Cap%C3%ADtulo+2+-+LTE.pdf>

Otra característica de LTE es que se contempla también el acceso a sus servicios a través de UMTS y GSM. También mediante otras redes de acceso como CDMA2000, Mobile WiMAX, redes 802.11, etc.) La red física que se utiliza en LTE para interconectar todos los equipos de la red, que se denomina red de transporte, es una red IP convencional. En la infraestructura de red LTE aparte de los equipos que realizan las funciones específicas del estándar, también habrá elementos de la red propios de redes IP como routers, servidores DHCP, servidores de DNS, switches, etc.

### **2.4.3. RED DE ACCESO EVOLUCIONADA: E-UTRAN**

En E-UTRAN la única entidad de red de en dicha red es la estación base, que en esta generación denominamos evolved NodeB (eNB). Esta estación base integra todas las funcionalidades de la red de acceso. Esto representa un cambio respecto a las anteriores generaciones, GSM y UMTS, ya que, en éstas, la red de acceso contenía además de las estaciones base (BTS y NodeB), un equipo controlador (BSC y RNC). Esta diferencia se representa en la Figura 2.17. En la red de acceso E-UTRAN, al estar formada únicamente por estaciones base eNB, éstas serán los que proporcionen la conectividad entre los usuarios y la red troncal EPC.



**Fig. 2.17 Comparativa de la red de acceso entre 3G y 4G.**

*Fuente: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Cap%C3%ADtulo+2+-+LTE.pdf>*

El eNB tiene tres interfaces para comunicarse con los usuarios, con la red troncal y con otro eNB.

E-UTRAN es la interfaz radio que comunica al usuario con la estación base utilizando el canal radio. Todas las funciones y protocolos que se necesitan para realizar el envío de datos y controlar la interfaz se implementa en la eNB.

A la red troncal se comunica a través de la interfaz S1, que a su vez se divide en otras dos, la S1-MME, que se utiliza para el plano de control y S1-U para el plano de usuario. El plano de usuario se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de dicha interfaz. El plano de control se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la interfaz. Esta separación entre las entidades de red, una dedicada al plano de usuario y otra al de control, nos permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios.

La otra interfaz que existe es la X2, que se utiliza para conectar los eNBs entre sí. Gracias a esta interfaz se pueden intercambiar tanto mensajes de señalización, destinados a permitir una gestión más eficiente de los recursos radio, así como el tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNB a otro en el momento de un traspaso (handover).

### 2.4.3.1. ENTIDADES DE RED E-UTRAN

#### 2.4.3.1.1 Evolved NodeB (eNB)

Tal como se ha comentado en la descripción general de la arquitectura de E-UTRAN, el eNB integra todas las funciones de la red de acceso. Por ello, en el eNB terminan todos los protocolos específicos de la interfaz radio. Mediante dichos protocolos, el eNB realiza la transmisión de los paquetes IP hacia/desde los equipos de usuario junto con los mensajes de señalización necesarios para controlar la operación de la interfaz radio. El servicio de transferencia de paquetes IP entre un eNB y un equipo de usuario se denomina formalmente como servicio portador radio (*Radio Bearer*, RB). El eNB mantiene un *contexto* de cada uno de los equipos de usuario que tiene conectados. En dicho contexto se almacena la información necesaria para mantener los servicios de E-UTRAN activos (información sobre el estado del equipo de usuario, servicios portadores activos, información de seguridad, capacidades del terminal, etc.).

Sin duda, la funcionalidad clave de un eNB consiste en la gestión de los recursos radio. Así, el eNB alberga funciones de control de admisión de los servicios portadores radio, control de movilidad (p.ej, decisión de realizar un *handover*), asignación dinámica de los recursos radio tanto en el enlace ascendente como descendente (denominadas funciones de *scheduling*), control de interferencias entre estaciones base, control de la realización y del envío de medidas desde los equipos de usuario que puedan ser útiles en la gestión de recursos, etc.

Otra función importante introducida en la funcionalidad de un eNB es la selección dinámica de la entidad MME de la red troncal EPC cuando un terminal se registra en la red LTE.

Esta función otorga un grado de flexibilidad muy importante en la operativa de la red. En E-UTRAN, a diferencia de arquitecturas más jerarquizadas como GERAN o las primeras versiones de UTRAN, un eNB puede estar conectado simultáneamente a múltiples MMEs de la red troncal. El conjunto de MMEs a los que tiene acceso un NB se denomina su *pool area*.

Así, mediante la selección de qué entidad MME va a controlar el acceso de cada usuario, es posible balancear la carga de señalización entre diferentes MMEs así como aumentar la robustez del sistema frente a puntos de fallo críticos. Esta opción se soporta mediante lo que se denomina la interfaz S1 flexible (S1-flex).

Al igual que la posibilidad de interactuar con múltiples MMEs, un eNB puede enviar/recibir paquetes IP de los usuarios a los que sirve a través de diferentes pasarelas S-GW de la red troncal EPC. Ello conlleva que el eNB albergue funciones de encaminamiento del tráfico de los usuarios hacia la pasarela de red S-GW correspondiente. La elección de S-GW en este caso compete a la entidad MME y no al eNB.

Un eNB puede gestionar una o varias celdas. Un caso típico es el uso de sectorización de forma que, el eNB ubicado en un emplazamiento soporta tantas celdas como sectores.

#### **2.4.3.1.2 Interfaz Radio**

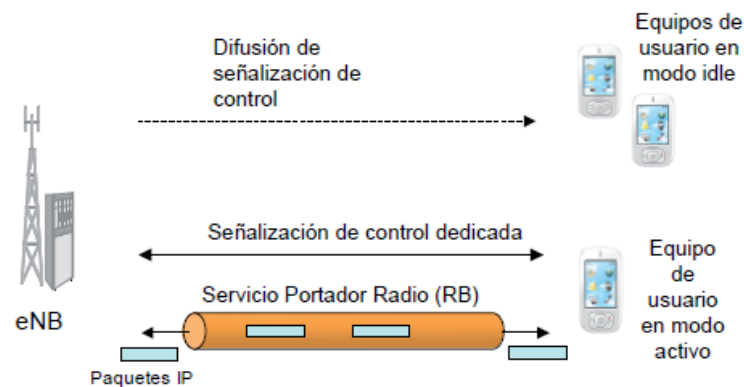
La interfaz radio soporta básicamente tres tipos de mecanismos de transferencia de la información en el canal radio: difusión de señalización de control, envío de paquetes IP y transferencia de señalización de control dedicada entre un equipo de usuario y el eNB. Encontramos 3 mecanismos.

- ✓ Difusión (*broadcast*) de señalización de control en la zona de cobertura de la celda. La información enviada permite a los equipos de usuario detectar la presencia del eNB y conocer sus parámetros básicos de operación (e.g., potencia máxima que pueden utilizar los equipos de usuario en la celda) así como la identidad de los operadores de red a los que puede accederse a través del eNB.
- ✓ Transferencia de paquetes IP de los usuarios a través del canal radio. Tal como se ha comentado anteriormente, los servicios de transferencia entre un eNB y un equipo de usuario se denominan servicios portadores radio (*Radio Bearers*, RB). Es importante destacar que los servicios portadores radio de E-UTRAN han sido



diseñados específicamente para soportar tráfico IP y no permiten la transferencia de otros protocolos (e.g., paquetes X.25, tramas Ethernet, etc.).

- ✓ Transferencia de señalización de control dedicada entre el eNB y un equipo de usuario. El establecimiento de una conexión de control dedicada resulta imprescindible de cara a poder gestionar el uso de los servicios portadores radio, así como para realizar cualquier gestión de señalización con la red troncal (e.g., registro del terminal en la red). La conexión de control se soporta mediante el protocolo *Radio Resource Control* (RRC).



**Fig. 2.18 mecanismos de transferencia de información en la interfaz radio**

*Fuente:*

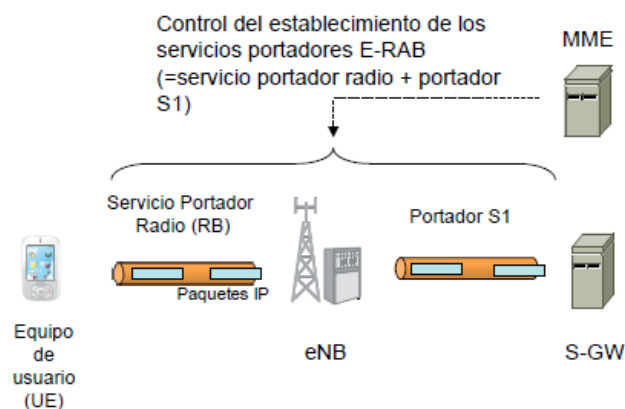
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Cap%C3%ADtulo+2+-+LTE.pdf>

#### **2.4.3.1.3 Interfaz eNB ↔EPC (S1)**

El plano de usuario de esta interfaz, denominado S1-U (*S1 User Plane*), proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario entre eNB y S-GW sin garantías de entrega (se basa en UDP que detalla la torre de protocolos utilizada) y que no soporta ni mecanismos de control de errores ni de control de flujo. Este servicio de transferencia a través de la interfaz S1-U se denomina servicio portador S1 (*S1 bearer*).

Concretamente, entre los procedimientos soportados en la interfaz S1 destacan:

- ✓ Procedimientos para establecimiento, modificación y liberación de recursos de los servicios portadores tanto en la interfaz radio (servicio portador radio o RB) como en la interfaz S1 (*S1 bearer*).
- ✓ Procedimientos de *handover* entre eNBs.
- ✓ Procedimiento de aviso (*Paging*).
- ✓ Procedimiento de envío de forma transparente entre MME y eNB de los mensajes de señalización de control que fluyen entre el MME y el equipo de usuario.



**Fig. 2.19 Control de los servicios portadores radio y S1 a través de la interfaz S1-MME** Fuente:

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Cap%C3%ADtulo+2+-+LTE.pdf>

#### 2.4.3.1.4 Interfaz eNB eNB (X2)

Al igual que el plano de usuario de S1, el plano de usuario de la interfaz X2 proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario entre eNBs sin garantías de entrega y sin soporte de mecanismos de control de errores y de control de flujo. La transferencia de datos de usuario entre eNBs se realiza únicamente durante los procedimientos de *handover* en los que los paquetes de usuario almacenados en el eNB antiguo se transfieren al eNB nuevo. De esta forma, el cambio de eNB asociado a un procedimiento de *handover* puede resultar más transparente al usuario ya que se reduce la posible pérdida de paquetes durante el proceso. Nótese que, sobretodo en servicios de datos, el eNB antiguo podría tener acumulados en su buffer de transmisión paquetes IP del usuario en el momento del cambio. Dichos paquetes, cuando el

usuario deja de estar accesible a través del eNB antiguo, podrían simplemente descartarse, con la consiguiente penalización en

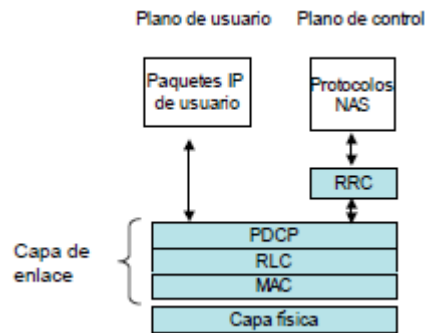
retardo y posible reducción en la tasa de transferencia del servicio asociado ya que la recuperación de dicha información recaería en la operación de las capas superiores (e.g., protocolo TCP en la capa de transporte). En cambio, si la propia red es capaz de transferir los paquetes IP del eNB antiguo al eNB nuevo, el impacto en el servicio puede reducirse notablemente.

#### **2.4.3.2. PROTOCOLOS DE RED E-UTRAN**

Las torres de protocolos utilizadas en las tres interfaces de E-UTRAN (radio, S1 y X2) se estructuran en torno a un plano de usuario y un plano de control. El plano de usuario abarca los protocolos utilizados para el envío del tráfico (paquetes IP) correspondiente a los servicios a los que acceden los terminales a través de la red. El plano de control se refiere a los protocolos necesarios para sustentar las funciones y procedimientos en las diferentes.

##### **2.4.3.2.1 Protocolo de Interfaz Radio**

El envío de paquetes IP entre el eNB y un equipo de usuario a través de la interfaz radio se sustenta en una torre de protocolos formada por una capa de enlace (o capa de nivel 2) y una capa física. La capa de enlace se desglosa a su vez en tres subcapas: *Packet Data Convergence Protocol* (PDCP), *Radio Link Control* (RLC) y *Medium Access Control* (MAC). Cada capa/subcapa de la torre de protocolos se ocupa de un conjunto de funciones concreto y define el formato de los paquetes de datos (e.g., cabeceras y colas) que se intercambian entre entidades remotas.



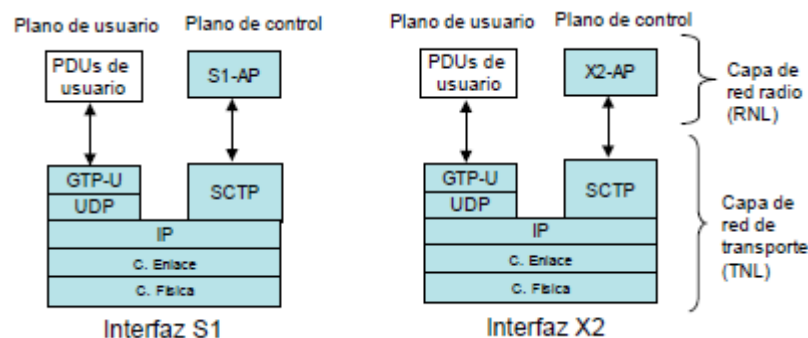
**Fig. 2.20 Protocolos en la Interfaz Radio**

*Fuente:*

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Cap%C3%ADulo+2+-+LTE.pdf>

#### 2.4.3.2.1 Protocolos en las interfaces S1 y X2

La estructura de protocolos utilizada en E-UTRAN para soportar las interfaces S1 y X2 establece una separación entre la capa de red radio (*Radio Network Layer, RNL*) y la capa de red de transporte (*Transport Network Layer, TNL*), tal como ya introdujo la red UMTS. Esta descomposición tiene como objetivo aislar las funciones que son específicas del sistema de comunicaciones móviles (UMTS o LTE), de aquellas otras que dependen de la tecnología de transporte utilizada (e.g., IP, ATM). De esta forma, los protocolos específicos de la red de acceso radio constituyen la capa RNL mientras que la capa TNL alberga los protocolos utilizados para el transporte de la información de la capa RNL entre las entidades de la red.



**Fig. 2.21 Protocolos de las Interfaces S1 y X2**

*Fuente:* <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Cap%C3%ADulo+2+-+LTE.pdf>

#### 2.4.4. RED TRONCAL DE PAQUETES EVOLUCIONADA: EPC

El núcleo de la red troncal EPC está formado por tres entidades de red, MME (Mobility Management Entity), Serving Gateway (S-GW) y el Packet Data Network Gateway (P-GW), que, junto a la base de datos principal del sistema denominada HSS (Home Subscriber Server), constituyen los elementos principales para la prestación del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados al sistema a través de la red de acceso E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC. Definimos a continuación cada una de estas entidades de red:

- ✓ **MME:** Es el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los usuarios a través de E-UTRAN. Todo terminal que se encuentre registrado en la red LTE y sea accesible a través de E-UTRAN, tiene una entidad MME asignada. Esta elección de MME se realiza dependiendo de varios aspectos tales como la ubicación geográfica del terminal en la red, así como a criterios de balanceo de cargas. Las principales funciones de esta entidad son:
  - Autenticación y autorización del acceso de los usuarios, siempre a través de EUTRAN.
  - Gestión de los servicios portadores EPS (EPS Bearer Service). Esta entidad es la encargada de gestionar la señalización que se necesita para establecer, mantener, modificar y liberar los servicios portadores.
  - Gestión de movilidad de los usuarios en modo idle (son terminales que no tienen establecida ninguna conexión de control con E-UTRAN pero están registrados en la red LTE).
  - Señalización para el soporte de movilidad entre EPS y otras redes externas.
  
- ✓ **S-GW:** es la pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Igual que en la entidad MME, todo usuario registrado en la red LTE tiene asignado una entidad S-GW en la red EPC a través de

la cual transcurre su plano de usuario. Las características principales son:

- Proporciona un punto de anclaje en la red EPC con respecto a la movilidad del terminal entre eNBs.
- La funcionalidad de anclaje también se aplica a la gestión de la movilidad con las otras redes de acceso del 3GPP (UMTS y GSM).
- Almacenamiento temporal de los paquetes IP de los usuarios en caso de que los terminales se encuentren en modo idle.
- Encaminamiento del tráfico de usuario. Esta entidad albergará la información y funciones de encaminamiento necesarias para dirigir el tráfico de subida hacia la pasarela P-GW que corresponda y el tráfico de bajada hacia el eNB.

✓ **PDN Gateway (P-GW):** Es la encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas. Por lo tanto, un paquete IP generado en la red LTE resulta “invisible” en la red externa, a través de la entidad P-GW, que hace de pasarela entre una red y otra. Un usuario tiene asignada como mínimo una pasarela P-GW desde su registro en la red LTE. Principales características de esta entidad de red:

- Aplicación de reglas de uso de la red y control de tarificación a los servicios portadores que tenga establecidos el terminal.
- La asignación de la dirección IP de un terminal utilizada en una determinada red externa se realiza desde la pasarela P-GW que corresponda.
- Actúa de punto de anclaje para la gestión de movilidad entre LTE y redes externas no 3GPP (WiMAX, WiFi, CDMA2000, etc.)
- El tráfico IP que transcurre por la pasarela P-GW es procesado a través de un conjunto de filtros que asocian cada paquete IP con el usuario y servicio portador EPS que corresponda.

✓ **HSS:** es la base de datos principal que almacena los datos de todos los usuarios de la red. La información almacenada es tanto lo relativo a la subscripción del usuario como lo necesario para la operatividad de

la red. Esta base de datos es consultada y modificada desde las diferentes entidades de red encargadas de prestar los servicios de conectividad o servicios finales (desde el MME de red troncal EPC y también desde servidores de control del subsistema IMS, que explicaremos más adelante). La información almacenada en la HSS que podemos encontrar: identificadores universales del usuario, identificadores de servicio, información de seguridad y cifrado, información relacionada con la ubicación de un usuario en la red, etc. HSS se estandarizó en 3GPP R5 en base a la integración de dos entidades definidas en redes GSM y que se denominan HLR y AuC, a las que se les han añadido funcionalidades adicionales necesarias para soportar el acceso y la operativa del sistema LTE.

#### **2.4.5. IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM (IMS)**

Es un subsistema que proporciona los mecanismos de control necesarios para la prestación de servicios de comunicación multimedia que están basados en la utilización del protocolo IP a los usuarios de la red LTE.

La idea es desplegar una infraestructura constituida por una serie de elementos (servidores, base de datos, pasarelas) que se comunicarán entre sí mediante una serie de protocolos, la mayoría estándares del IETF, y que nos permiten ofrecer servicios de voz y video sobre IP, videoconferencia, mensajería instantánea, etc. El acceso a estos servicios por parte de los terminales de usuario se realiza a través de los servicios de conectividad que ofrece la red LTE. La prestación de estos servicios por parte del IMS pretende sustituir a medio-largo plazo los servicios equivalentes ofrecidos actualmente en modo circuito.

El modelo de prestación de servicio en base al subsistema IMS se estructura en tres capas: transporte, control y aplicación.

- ✓ **Capa de transporte:** representa la infraestructura de red IP, que depende de la tecnología de acceso, que nos proporciona el encaminamiento de los flujos IP entre terminales y demás elementos de la red.

- ✓ **Capa de control:** aquí se ubican los elementos especializados en la gestión de sesiones, como los servidores SIP, así como otros elementos específicos para la interacción con redes telefónicas convencionales (pasarelas VoIP, controladores, etc.).
- ✓ **Capa de aplicación:** en esta capa residen los servidores de aplicación que albergan la lógica y datos asociados a los diferentes servicios proporcionados a través de IMS. En esta capa también se presentan elementos ligados a otras plataformas de servicios como redes inteligentes.
- ✓ El establecimiento y liberación de sesiones a través del IMS se basa en el protocolo de señalización SIP complementándolo con una serie de extensiones adicionales. SIP es un protocolo que se concibió para el establecimiento y liberación de sesiones multimedia (telefonía, videoconferencia, etc.) sobre redes IP entre dos o más participantes. Gracias a la flexibilidad de SIP, ahora abarca una gama de aplicaciones mucho más extensa, mensajería instantánea, juegos distribuidos, control remoto de dispositivos, etc.

#### 2.4.6. EQUIPOS DE USUARIO

Es el equipo que permite al usuario conectarse a la red LTE y disfrutar de los servicios que nos proporciona a través de la interfaz radio. La arquitectura funcional de un equipo de usuario es la misma que se definió para GSM y UMTS.

El equipo de usuario (User Equipment, UE) contiene dos elementos básicos: un módulo de subscripción del usuario (SIM/USIM) y el terminal móvil propiamente dicho (Mobile Equipment, ME). A su vez, el SE ME considera dos entidades funcionales: la terminación móvil (MT) y el equipo terminal (TE). A continuación definimos todos estos elementos.

- ✓ **Módulo de subscripción de usuario:** La SIM/USIM está asociada a un usuario y por tanto es quien le identifica dentro de la red independientemente del equipo móvil utilizado. La separación entre



SIM y ME facilita que un usuario pueda cambiar de terminal sin necesidad de cambiar de identidad, de SIM.

- ✓ **El equipo móvil (ME):** en él se integran las funciones propias de comunicación con la red celular, así como las funciones adicionales que permiten la interacción del usuario con los servicios que ofrece la red.
- Terminación móvil (MT): alberga las funciones propias de la comunicación.
- Equipo terminal (TE): equipo que se ocupa de la interacción con el usuario.

## 2.5 CANALES DE LTE

### 2.5.1. CANALES FÍSICOS DE TRÁFICO

- ✓ **Physical Downlink Shared Channel (PDSCH):** Este canal transmite habitualmente información de usuario. Contiene la información entregada por la capa MAC mediante el canal transporte Downlink Shared Channel (DL-SCH). También puede transportar información de aviso (PCH) y aquella de radiodifusión que no sea imprescindible para que el terminal móvil se enganche a la red. Este canal se mapea en el dominio frecuencia-tiempo utilizando los PRBs.

### 2.5.2. CANALES DE CONTROL

- ✓ **Physical Broadcast Channel (PBCH):** Transporta la información de radiodifusión básica de la red, que permite la conexión inicial de un terminal móvil a la misma.
- ✓ **Physical Downlink Control Channel (PDCCH):** Canal de control genérico del enlace descendente. Informa sobre los recursos en el enlace descendente asignados al PDSCH.
- ✓ **Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH):** Informa al terminal móvil sobre el número de símbolos (1,2 ó 3) utilizados para transmitir el PDCCH.

- ✓ **Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH):** Transporta información de reconocimiento (ACK/NACK) correspondientes a las transmisiones del enlace ascendente.

## CAPITULO III: SITUACION Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA

La provincia de Sechura, es la de más reciente creación en el departamento de Piura, está ubicada al Sur de Piura, limita por el Norte con ésta y con Paita, por el Este con Piura y Lambayeque, por el Sur con Lambayeque y el Océano Pacífico y por el Oeste, de igual manera con el Océano Pacífico. Es la provincia de mayor extensión de Piura, con una superficie de 6,369.93 km<sup>2</sup>.

Ubicada en las coordenadas 05°33'13" y 05°25'07" de latitud Sur, 80°49'14" y 80°46'16" Longitud Oeste.

### 3.2. DIVISION POLITICA

La provincia de Sechura cuenta con noventa y nueve centros poblados - CP, el distrito de Sechura es la que tiene la mayor cantidad, con cuarenta y dos CP, seguido del distrito de Vice con dieciocho y Bernal con dieciséis. La mayoría de los centros poblados están ubicados en espacios rurales.

Los límites de la provincia son:

- ✓ **Por el Noroeste:** Provincia de Paita y distritos de La Unión, Tallan y Catacaos, estos últimos de la provincia de Piura.
- ✓ **Por el Este y Sureste:** con el departamento de Lambayeque.
- ✓ **Por el Sur, Suroeste y Oeste:** con el Océano Pacífico.

Distrito	Latitud	Longitud	Superficie
Sechura	5°33'27"S	80°49'20"O	5711.25 km <sup>2</sup>
Bellavista	5°26'26"S	80°45'18" O	13.01 km <sup>2</sup>
Bernal	5°27'46"S	80°44'33"O	67.64 km <sup>2</sup>
Cristo nos valga	5°29'37"S	80°44'28"O	234.37 km <sup>2</sup>
Vice	5°25'18"S	80°46'27"O	324.62 km <sup>2</sup>
Rinconada	5°27'49"S	80°45'55"O	19.44 km <sup>2</sup>

**Tabla 3.1 Distritos de la provincia de Sechura**

*Fuente: Elaboración propia*



**Fig. 3.1 Distritos de la provincia de Sechura**

*Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Sechura>*

### 3.3. CLIMA

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. media (°C)	25.8	26.9	26.8	25.6	23.7	21.9	20.6	20.5	20.6	21.3	22.2	24.1	23.3

**Fig. 3.2 Parámetros climáticos promedio de Sechura.**

*Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Sechura>*

### 3.4. POBLACION

La Provincia según el censo en él 2007 tiene una población aproximada de 59 000 habitantes.

### 3.5. ACTIVIDADES ECONOMICAS

✓ **Agricultura:** El número de productores agropecuarios sechuranos es de 5,679, que representan el 12.61% de la población total de la provincia. Estos laboran en una extensión de 23,269.39 hectáreas, que representan el 0.64% del número en hectáreas total agrícolas del Departamento a nivel de la provincia.

✓ **Pesquería:** La abundancia del Plancton es el litoral Sechurano lo convierte en el hábitat de por lo menos 3 especies de pescado fresco para consumo humano directo que se desembarcan en playa. Entre los mariscos

figuran hasta 8 especies como las principales. Para enlatado se utilizan 6 especies y para harina además de la anchoveta otras 5 especies.

✓ **Industria:** En Sechura existe un promedio de 80 establecimientos dedicados a la Industria Manufacturera.

En términos de concentración, Sechura con 51.25% y Vice con el 31.25% son los distritos que concentren el 82.5% de los establecimientos Industriales. Asimismo, en la Provincia existen Empresas Industriales de Productos Pesqueros como: Avícola, Copeinca, Camar, C. Garrido, Federación Pesquera, Ind. Pesquera Yacila, Peruvian Fishing Corp. S.A., Productos Marinos del Pacífico Sur. Ubicados en Sechura, Bayóvar, Constante, Parachique, siendo su producción enlatados, congelados y harina.

## CAPITULO IV: INGENIERIA DEL PROYECTO

En el capítulo previo se realizó un estudio económico y situación actual de las telecomunicaciones en la provincia de Sechura, seleccionado como nuestro mercado al distrito de Sechura. El presente capítulo abarcará el diseño topológico de la red, tomando en cuenta la red de acceso, la red de transporte y la infraestructura necesaria para el despliegue de la red LTE propuesta.

Nuestro diseño de la red de acceso estará basado en cálculos de cobertura y capacidad que nos puede ofrecer cada eNB independientemente de la cantidad de clientes que se desea atender. Estos cálculos serán comparados con las demandas de servicios y capacidades que se tienen del mercado, logrando de esta manera calcular el número y ubicación geográfica de los eNBs.

### 4.1 SELECCIÓN DE FRECUENCIAS Y MODO DE PROPAGACION

#### 4.1.1 BANDA DE FRECUENCIA

La capa física de LTE está pensada para trabajar en bandas altas de UHF, por encima de los 450 MHz y hasta los 3,5 GHz. El estándar define hasta 40 posibles bandas de operación trabajando bien en modo de duplexación por división de frecuencia (FDD) o bien en duplexación por división en el tiempo (TDD). En la Tabla se muestran las bandas de frecuencia sobre las cuales trabaja LTE, tanto en FDD como en TDD.

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
	F <sub>UL_low</sub> – F <sub>UL_high</sub>	F <sub>DL_low</sub> – F <sub>DL_high</sub>	
1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz – 1755 MHz	2110 MHz – 2155 MHz	FDD
5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
6	830 MHz – 840 MHz	875 MHz – 885 MHz	FDD
7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz – 1784.9 MHz	1844.9 MHz – 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz – 1770 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz – 1452.9 MHz	1475.9 MHz – 1500.9 MHz	FDD
12	698 MHz – 716 MHz	726 MHz – 746 MHz	FDD
13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
...			
17	704 MHz – 716 MHz	734 MHz – 746 MHz	FDD
...			
33	1900 MHz – 1920 MHz	1900 MHz – 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz – 1910 MHz	1850 MHz – 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz – 1990 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz – 1930 MHz	1910 MHz – 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD

**Tabla 4.1 Banda de frecuencias LTE**

*Fuente: User Equipment (UE) radio transmission and reception*

Actualmente se están construyendo soluciones para FDD, por cual la banda con la que se trabajará estará comprendida entre las bandas del 1 al 17.

Es importante destacar que, dada una banda de operación, no existe un valor fijo de la frecuencia portadora sino un rango de posibles valores con una separación entre ellos igual al valor del Channel Raster (la mínima separación entre posibles frecuencias portadores es 100 KHz).

E-UTRA Operating Band	Downlink			Uplink		
	F <sub>DL_low</sub> [MHz]	N <sub>om-DL</sub>	Range of N <sub>DL</sub>	F <sub>UL_low</sub> [MHz]	N <sub>om-UL</sub>	Range of N <sub>UL</sub>
1	2110	0	0 – 599	1920	18000	18000 – 18599
2	1930	600	600 – 1199	1850	18600	18600 – 19199
3	1805	1200	1200 – 1949	1710	19200	19200 – 19949
4	2110	1950	1950 – 2399	1710	19950	19950 – 20399
5	869	2400	2400 – 2649	824	20400	20400 – 20649
6	875	2650	2650 – 2749	830	20650	20650 – 20749
7	2620	2750	2750 – 3449	2500	20750	20750 – 21449
8	925	3450	3450 – 3799	880	21450	21450 – 21799
9	1844.9	3800	3800 – 4149	1749.9	21800	21800 – 22149
10	2110	4150	4150 – 4749	1710	22150	22150 – 22749
11	1475.9	4750	4750 – 4999	1427.9	22750	22750 – 22999
12	728	5000	5000 – 5179	698	23000	23000 – 23179
13	746	5180	5180 – 5279	777	23180	23180 – 23279
14	758	5280	5280 – 5379	788	23280	23280 – 23379
...						
17	734	5730	5730 – 5849	704	23730	23730 – 23849
...						
33	1900	36000	36000 – 36199	1900	36000	36000 – 36199
34	2010	36200	36200 – 36349	2010	36200	36200 – 36349
35	1850	36350	36350 – 36949	1850	36350	36350 – 36949
36	1930	36950	36950 – 37549	1930	36950	36950 – 37549
37	1910	37550	37550 – 37749	1910	37550	37550 – 37749
38	2570	37750	37750 – 38249	2570	37750	37750 – 38249
39	1880	38250	38250 – 38649	1880	38250	38250 – 38649
40	2300	38650	38650 – 39649	2300	38650	38650 – 39649
NOTE: The channel numbers that designate carrier frequencies so close to the operating band edges that the carrier extends beyond the operating band edge shall not be used. This implies that the first 7, 15, 25, 50, 75 and 100 channel numbers at the lower operating band edge and the last 6, 14, 24, 49, 74 and 99 channel numbers at the upper operating band edge shall not be used for channel bandwidths of 1.4, 3, 5, 10, 15 and 20 MHz respectively.						

**Tabla 4.2 Canales LTE**

*Fuente: User Equipment (UE) radio transmission and reception*

Los números de canal que designan frecuencias portadoras tan cerca de los bordes de la banda de portador se extienda más allá del borde de la banda operativa. Esto implica que los primeros 7, 15, 25, 50, 75 y 100

números de canal en el borde inferior de la banda operativa y los últimos 6, 14, 24, 49, 74 y 99 los números de canal en el borde superior de la banda operativa no se utilizarán para anchuras de banda de canal de 1,4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz respectivamente.

La canalización realizada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y aprobada según Resolución Viceministerial 456-2011-MTC/03 del 29 de abril de 2011, dispone de tres bloques, mostrado en la Tabla 4.3, de los cuales solo los bloques A y B serán puestos en concesión por 20 años.

BLOQUE	Rango de frecuencias (MHz)	
	Subida	Bajada
A	1710 - 1730	2110 - 2130
B	1730 -1750	2130 - 2150
C	1750 -1770	2150 - 2170

**Tabla 4.3 Sub bandas permitidas para el uso de LTE en el Perú**

*Fuente: MTC*

La disponibilidad de una canalización con anchos de banda de 2x20 MHz en la banda AWS (20 MHz para el canal de subida y 20 MHz para la bajada), permitirá a los operadores nacionales que ganen esta licitación implementar redes LTE y ofrecer velocidades de datos de más de 120 Mbps (por sector) usando antenas MIMO 2x2. Esta velocidad podría duplicarse con antenas MIMO 4x4 en los próximos años

Aún queda por licitar en el Perú un bloque de la banda AWS y la banda de 700 MHz para LTE (que usa Verizon y AT&T en EEUU), que ofrece una mejor prestación en términos de cobertura, sin embargo, en el ámbito nacional están aún siendo ocupadas por algunos canales de programación religiosa (banda UHF), que podrían ser reubicados como canales de televisión digital. También, el MTC podría estar a la espera de la decisión final del 3GPP respecto a la región de Asia Pacífico (APAC) donde se podría definir una banda de 700 MHz: FDD de 2x45 MHz o TDD de 100 MHz. Esta banda puede ser canalizada en bloques de 2x15 o 2x20 MHz que ofrecen mayor capacidad que los bloques de 2x10 MHz que se viene empleando en EEUU .



En nuestro diseño usaremos la nomenclatura (Banda,  $N_{DL}$ , BW) para identificar el canal sobre el cual se trabajará. De lo expuesto en los párrafos anteriores, se trabajará en la banda 10, un identificador de frecuencia (canal) igual a 4300 y un ancho de banda igual a 20 MHz. Por lo tanto, nuestro identificador es (10, 4300, 20) para el enlace de bajada.

#### 4.1.2 MODELO DE PROPAGACION

Para el cálculo de propagación, se usará el modelo a gran escala: Cost 231- Hata . Este modelo define la pérdida de propagación mediante las ecuaciones 4.1 y 4.2.

$$L_p = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_{BS} - a_{BE} + (44.9 - 6.55 \log h_{BS}) \log d + C \quad (4.1)$$

$$a_{VE} = (1.1 \log f - 0.7)h_{VE} - (1.56 \log f - 0.5) \quad (4.2)$$

$L_p$  = Pérdida de trayectoria mediana.

$f$  = Frecuencia (Mhz).

$h_{BS}$  = Altura de la estacion Base.

$h_{VE}$  = Altura del movil.

$d$  = Distancia entre el eNB y UE.

$$C = \begin{cases} 0 & \text{zona rural} \\ 3 & \text{zona urbana} \end{cases}$$

## 4.2 CALCULOS DE LA COBERTURA

### 4.2.1. SENCIBILIDAD DEL RECEPTOR PARA CADA MODULACION

La sensibilidad se define como la mínima potencia recibida por el receptor para cumplir con el requerimiento de la relación señal a ruido SNR o Eb/No. En la ecuación 4.3 se define su cálculo (Baltazar, 2013).

$$s_{dBm} = -174_{Hz}^{dBm} + 10 \log BW_{dBm*Hz} + NF_{dB} + SINR_{dB} + IM_{dB} - 3dB \quad (4.3)$$

$BW$  = Ancho de banda (Hz)

$NF$  = Figura de ruido del receptor (dB)

$IM$  = Imagen de Implementacion (dB)

El SINR requerido está definido por la tecnología que se esté usando y depende entre otros del objetivo de calidad de BER, de la modulación y de la codificación de canal usada.

La figura de ruido del receptor (NF) es una medida de la degradación de la SINR causados por los componentes de la cadena de la señal de radiofrecuencia. Es decir, la figura de ruido NF es una medida de cuanto ruido adiciona el receptor a la señal y se manifiesta como una reducción en la SNR a la salida en comparación con la entrada. LTE define un requisito de no sobrepasar los valores de 9 dB para el UE y 5 dB para un eNB.

El IM es un margen que considera las diferencias teóricas y prácticas del SINR. También considera la degradación de la señal debido al tratamiento digital que se le aplica y el uso de demoduladores no ideales.

#### ✓ **ENLACE DE BAJADA**

El transmisor es el eNB y el receptor es el UE. Debido a la modulación y codificación del LTE, el SINR obliga a variar la modulación y codificación.

El ancho de banda asignado según la banda seleccionada tiene un valor de 20 MHz. Para una canalización de 20 MHz se tienen asignados 100 PRB's. Adicionalmente, se sabe que el ancho de banda de cada PRB es de 180 KHz. Por lo tanto, el ancho de banda efectivo será según lo indicado en la Ecuación siguiente:

$$\begin{aligned} BW_{efectivo} &= \#PRB's \times BW_{PRB} \\ &= 100 \times 180KHz \\ &= 18MHz \quad (4.4) \end{aligned}$$

En la Tabla 4.4 se muestran los valores del SINR establecido en los requerimientos de LTE para las distintas combinaciones de modulación y tasas de codificación.

Sistema	Modulación	Code Rate	SINR (dB)	IM (dB)	SINR + IM (dB)
LTE UE	QPSK	1/8	-5.1	2.5	-2.6
		1/5	-2.9		-0.4
		1/4	-1.7		0.8
		1/3	-1		1.5
		1/2	2		4.5
		2/3	4.3		6.8
		3/4	5.5		8.0
		4/5	6.2		8.7
	16 - QAM	1/2	7.9	3	10.9
		2/3	11.3		14.3
		3/4	12.2		15.2
		4/5	12.8		15.8
	64 - QAM	2/3	15.3	4	19.3
		3/4	17.5		21.5
		4/5	18.6		22.6

**Tabla 4.4 Variación del SINR en función de la modulación y tasa de codificación**

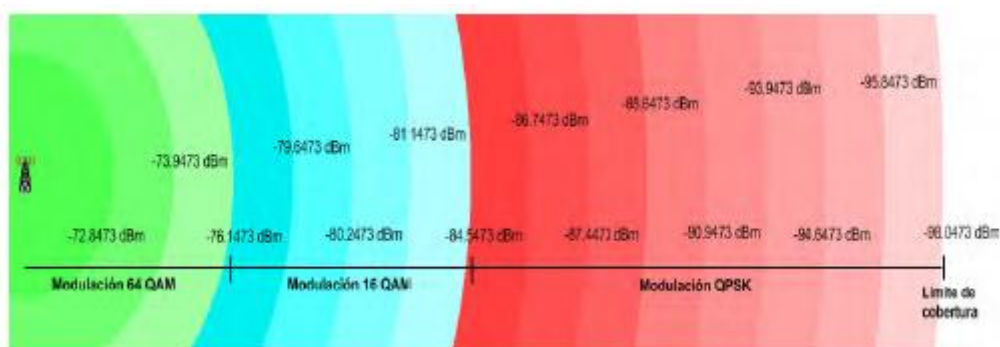
*Fuente: Elaboración Propia*

Modulación	Tasa de codificación	SINR en Rx (dB)	IM (dB)	Sensibilidad en el UE (dBm)
QPSK	1/8	-5.1	2.5	-98.0473
	1/5	-2.9	2.5	-95.8473
	1/4	-1.7	2.5	-94.6473
	1/3	-1	2.5	-93.9473
	1/2	2	2.5	-90.9473
	2/3	4.3	2.5	-88.6473
	3/4	5.5	2.5	-87.4473
	4/5	6.2	2.5	-86.7473
16 - QAM	1/2	7.9	3	-84.5473
	2/3	11.3	3	-81.1473
	3/4	12.2	3	-80.2473
	4/5	12.8	3	-79.6473
64 - QAM	2/3	15.3	4	-76.1473
	3/4	17.5	4	-73.9473
	4/5	18.6	4	-72.8473

**Tabla 4.5 Valores de sensibilidad en el enlace de bajada**

*Fuente: Elaboración Propia*

En la Figura 4.2 se puede observar las variaciones de la sensibilidad de acuerdo al tipo de modulación para el enlace de bajada.



**Fig. 4.1 Variaciones de sensibilidad en el enlace de bajada**

*Fuente: Baltazar, 2013*

#### ✓ **ENLACE DE SUBIDA**

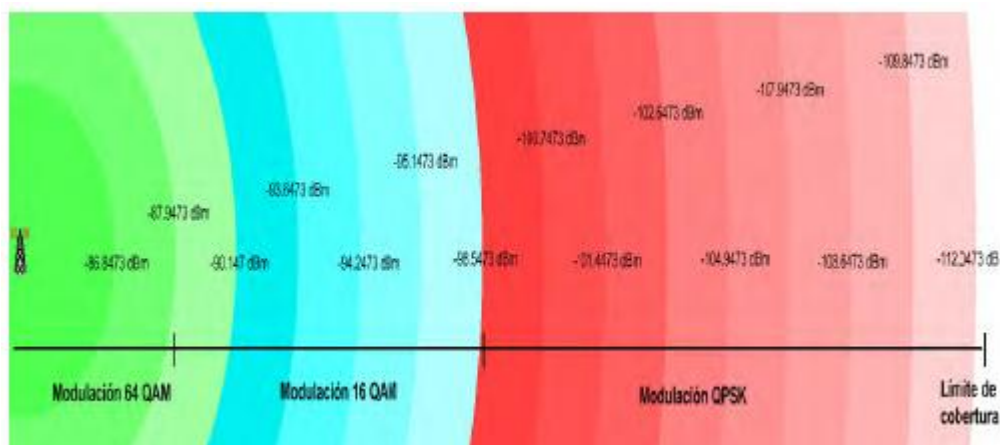
En este caso se considera que el equipo receptor es en eNB y el equipo transmisor es UE, a este se le asigna un ancho de banda de 1.8 MHz el cual está en función de los equipos comerciales.

Modulación	Tasa de codificación	SINR en Rx (dB)	IM (dB)	Sensibilidad en el eNB (dB)
QPSK	1/8	-5.1	2.5	-112.0473
	1/5	-2.9	2.5	-109.8473
	1/4	-1.7	2.5	-108.6473
	1/3	-1	2.5	-107.9473
	1/2	2	2.5	-104.9473
	2/3	4.3	2.5	-102.6473
	3/4	5.5	2.5	-101.4473
	4/5	6.2	2.5	-100.7473
16 - QAM	1/2	7.9	3	-98.5473
	2/3	11.3	3	-95.1473
	3/4	12.2	3	-94.2473
	4/5	12.8	3	-93.6473
64 - QAM	2/3	15.3	4	-90.1473
	3/4	17.5	4	-87.9473
	4/5	18.6	4	-86.8473

**Tabla 4.6 Valores de sensibilidad en el enlace de subida.**

*Fuente: Elaboración Propia*

Hay que tener en cuenta que para este caso el valor de NF es de 5dB. En la tabla se muestran valores obtenidos para en enlace de subida.



**Fig. 4.2 Variaciones de sensibilidad en el enlace de subida.**

*Fuente: Baltazar, 2013*

#### 4.2.2. RADIO DE COBERTURA DE LA CELDA

Para calcular el radio de cobertura de la Celda se recurre a la tabla de valores de sensibilidad, para ello debemos tener en cuenta los parámetros siguientes:

##### ENLACE DE BAJADA:

##### ✓ Valores de sensibilidad límites en la cobertura de la radio

Estos valores están relacionados al tipo de modulación, en nuestro caso son QPSK, 16QAM, 64 QAM.

Con los resultados obtenidos para el enlace de subida, procedemos a definir el valor de sensibilidad en los bordes de los anillos delimitados por su tipo de modulación, según se detalla en la siguiente tabla.

SINR	SINR mínimo en Rx (dB)	SINR máximo en Rx (dB)	Sensibilidad mínima	Sensibilidad máxima
QPSK	-5.1	7.9	-98.0473	-84.5473
16 - QAM	7.9	15.3	-84.5473	-76.1473
64 - QAM	15.3	18.6	-76.1473	N.A

**Tabla 4.7 Valores de límites de sensibilidad, según la modulación, para el enlace de bajada.** *Fuente: Elaboración Propia*

✓ **Perdidas por propagación**

La frecuencia de portadora será la frecuencia de bajada y se calcula con la siguiente ecuación (Baltazar, 2013).

$$F_{DL} = F_{DL\_LOW} + 0.1(N_{DL} + N_{OFF\_DL}) \quad (4.5)$$

Donde:

$F_{DL}$  = Frecuencia de central de bajada.

$F_{DL\_LOW}$  = Frecuencia del límite inferior de la banda.

$N_{DL}$  = Identificador de la frecuencia, denominado Absolute Radio Frequency Channel Number del enlace de bajada.

$N_{OFF\_DL}$  = Indica el identificar inferior de frecuencia dentro del rango de una banda.

Reemplazando en la ecuación 4.5 los valores de la tabla 4.2 de acuerdo a nuestro canal seleccionado tenemos:

$$F_{DL} = 2110 + 0.1(4300 - 4150) = 2125 \text{ MHz}$$

Reemplazamos  $F_{DL}$  en la ecuación 4.2, para obtener el valor de  $a_{VE}$ :

$$a_{VE} = (1.1 \log 2125 - 0.7)1.65 - (1.56 \log 2125 - 0.5) = 0.1934 \text{ dB}$$

Reemplazamos el valor de  $a_{VE}$  en la ecuación (4.1) y tenemos:

$$L_p = 46.3 + 33.9 \log 2125 - 13.82 \log 33 - 0.1934 + (44.9 - 6.55 \log 33) \log d + 3$$

$$L_p = 140.9184 + 34.9537 \log d \quad (4.6)$$

✓ **Máxima pérdida permitida**

Para cualquier enlace de radio se cumple que:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - P_{Trayectoria} + G_{RX} - Margen \quad (4.7)$$

Donde:

$P_{RX}$ : Potencia disponible en la antena de recepción.

$P_{TX}$ : Potencia de salida en la antena de transmisión.

$G_{TX}$ : Ganancia de la antena de transmisión.

$P_{Trayectoria}$ : Pérdida de trayecto.

$G_{RX}$ : Ganancia de la antena de recepción.

$Margen$ : Margen de pérdida.

La pérdida de trayectoria permitida será máxima cuando  $P_{RX} = S$ , así tenemos:

$$P_{Trayectoria(max)} = MPLA = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - Margen - S$$

$$P_{Trayectoria(max)} = MPLA = EIPR + G_{RX} - Margen - S \quad (4.8)$$

La modulación depende del valor de la sensibilidad que se esté usando y de la ubicación del UE, límite inferior o superior del área de cobertura.

En la Tabla 4.9 se muestran un resumen de las especificaciones técnicas del equipo transmisor (estación base) y del equipo receptor (equipo terminal).

Usando los datos de la Tabla 4.9, y tomando en consideración los datos obtenidos para sensibilidad en la Tabla 4.6, reemplazamos en la Ecuación 4.8 y obtenemos los valores de máxima pérdida permitida para la modulación QPSK.

$$MPLA_{Interno} = 61 + 0 - 12 - (-84.5473)$$

$$MPLA_{Interno} = 133.5473 \text{ dB} \quad (4.9)$$

$$MPLA_{Externo} = 61 + 0 - 12 - (-98.0473)$$

$$MPLA_{Externo} = 147.0473 \quad (4.10)$$

CARACTERISTICAS DE TX DEL eNB	UNIDADES	VALOR
Potencia de transmisión PRX	dBm	46.00
Ganancia del elemento Radiante	dBi	15.00
Elementos del arreglo de antenas	NA	1.00
Ganancia por elementos del arreglo	dB	0.00
Ganancia por Beam Forming	dB	0.00
Ganancia por sistema MIMO	dB	0.00
<b>E.I.R.P: Potencia Efectiva Radiada Isotropica</b>	<b>dBm</b>	<b>61.00</b>
CARACTERISTICAS DE RX DEL MOVIL		
Ganancia de cada elemento radiante de la antena de recepción	dBi	0.00
Cantidad de elementos del arreglo	NA	1.00
Ganancia debida al arreglo (Diversidad de Antenas)	dB	0.00
<b>Ganancia total en Rx</b>	<b>dB</b>	<b>0.00</b>
MARGENES		
Margen de Fading Long Normal	dB	6.00
Fast fading margin	dB	2.00
Interference margin	dB	2.00
Perdidas debido a la penetración	dB	2.00
<b>Margen Total</b>	<b>dB</b>	<b>12.00</b>

**Tabla 4.8 Especificaciones técnicas de los equipos transmisor y receptor, en el enlace de bajada.**

*Fuente: Elaboración Propia*

Asimismo, calculamos para las modulaciones QPSK, 16 QAM, 64 QAM en la tabla siguiente

Modulación	Sensibilidad		MPLA	
	mínima	Máxima	mínima	máxima
<b>QPSK</b>	-98.0473	-84.5473	133.5473	147.0473
<b>16 QAM</b>	-84.5473	-76.1473	125.1473	133.5473
<b>64 QAM</b>	-76.1473	N.A	N.A	125.1473

**Tabla 4.9 Valores de MPLA para el enlace de bajada.**

*Fuente: Elaboración Propia*

Para obtener los radios de cobertura será necesario igualar la Ecuación 4.6 con los valores obtenidos en las Ecuaciones 4.9 y 4.10 obtenemos:

Radio Interno:

$$140.8837 + 34.957 \log d = 133.5473$$

$$\log d = -0.2099$$

$$d = 0.6168 \text{ Km}$$



Radio Externo:

$$140.8837 + 34.957 \log d = 147.0473$$

$$\log d = -0.17.63$$

$$d = 1.5008 \text{ Km}$$

Para las modulaciones 16 QAM y 64 QAM obtenemos los resultados, en la Tabla 4.11 nos muestra el rango de cobertura de los anillos según su modulación.

Modulación	Radio	
	mínima	máxima
QPSK	0.6168	1.5008
16 QAM	0.3546	1.6168
64 QAM	N.A	0.3546

Tabla 4.10 Radios de cobertura según la modulación en el enlace de bajada.

*Fuente: Elaboración Propia*

#### ENLACE DE SUBIDA:

✓ **Valores de sensibilidad límites en la cobertura de la radio**

Tal como se calculó para el enlace de bajada podemos definir los valores de sensibilidad de la estación base en los bordes de los anillos delimitados por el tipo de modulación, según se detalla en la Tabla 4.12.

SINR	SINR mínimo en Rx (dB)	SINR máximo en Rx (dB)	Sensibilidad mínima	Sensibilidad máxima
QPSK	-5.1	7.9	-112.0473	-98.5473
16 - QAM	7.9	15.3	-98.5473	-90.1473
64 - QAM	15.3	18.6	-90.1473	N.A

Tabla 4.11 Valores de límites de sensibilidad, según la modulación, para el enlace de subida.

*Fuente: Elaboración Propia*

✓ **Perdidas por propagación**

En esta oportunidad la frecuencia portadora es la frecuencia de subida y se calcula con la siguiente ecuación

$$F_{UL} = F_{UL\_LOW} + 0.1(N_{UL} - N_{OFF\_UL}) \quad (4.11)$$

Se sabe que:

$$N_{UL} = 22250$$

Reemplazando en la ecuación (4.11) se tiene que:

$$F_{UL} = 1710 + 0.1(22250 - 22150) = 1720 \text{ MHz}$$

Ahora reemplazamos en la ecuación (4.2)

$$a_{VE} = (1.1 \log 1720 - 0.7)1.65 - (1.56 \log 1720 - 0.5) = 0.1701 \text{ dB}$$

Asimismo, reemplazamos en la ecuación (4.1)

$$L_p = 46.3 + 33.9 \log 1720 - 13.82 \log 33 - 0.1701 + (44.9 - 6.55 \log 33) \log d + 3$$

$$L_p = 137.8285 + 34.9537 \log d \quad (4.12)$$

✓ **Máxima pérdida permitida**

Similar al cálculo para el enlace de bajada la pérdida permitida será máxima cuando  $P_{RX} = S$

CARACTERISTICAS DE TX DEL eNB	UNIDADES	VALOR
Potencia de transmisión PRX	dBm	23.00
Ganancia del elemento Radiante	dBi	0.00
Elementos del arreglo de antenas	NA	1.00
Ganancia por elementos del arreglo	dB	0.00
Ganancia por Beam Forming	dB	0.00
Ganancia por sistema MIMO	dB	0.00
<b>E.I.R.P: Potencia Efectiva Radiada Isotrópica</b>	<b>dBm</b>	<b>23.00</b>
<b>CARACTERISTICAS DE RX DEL MOVIL</b>		
Ganancia de cada elemento radiante de la antena de recepción	dBi	15.00
Cantidad de elementos del arreglo	NA	1.00
Ganancia debida al arreglo (Diversidad de Antenas)	dB	0.00
<b>Ganancia total en Rx</b>	<b>dB</b>	<b>15.00</b>
<b>MARGENES</b>		

Margen de Fading Long Normal	dB	6.00
Fast fading margin	dB	2.00
Interference margin	dB	2.00
Perdida debido a la penetración	dB	2.00
<b>Margen Total</b>	<b>dB</b>	<b>12.00</b>

**Tabla 4.12 Especificaciones técnicas del equipo transmisor y receptor, en el enlace de bajada.** *Fuente: Elaboración Propia*

Con los datos obtenidos de la Tabla 4.13 y los datos obtenidos para sensibilidad en la Tabla 4.6 reemplazamos en la Ecuación 4.8 obtenemos los valores de máxima pérdida permitida.

Modulación	Sensibilidad		MPLA	
	mínima	máxima	mínima	máxima
<b>QPSK</b>	-112.0473	-98.5473	124.5473	138.0473
<b>16 QAM</b>	-98.5473	-90.1473	116.1473	124.5473
<b>64 QAM</b>	-90.1473	N.A	N.A	116.1473

**Tabla 4.13 Valores de máxima pérdida permitida en el enlace de subida** *Fuente: Elaboración Propia*

Al igual cada uno de valores de máxima pérdida permitida obtenidos con la ecuación de pérdida por propagación, Ecuación 4.12, obtenemos el rango de cobertura de los anillos según su modulación.

Modulación	Radio	
	Mínima	Máxima
<b>QPSK</b>	0.4169	1.0145
<b>16 QAM</b>	0.2397	0.4169
<b>64 QAM</b>	N.A	0.2397

**Tabla 4.14 Cobertura según la modulación en el enlace de subida.** *Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.2.3. ÁREA DE COBERTURA DE LA CELDA.

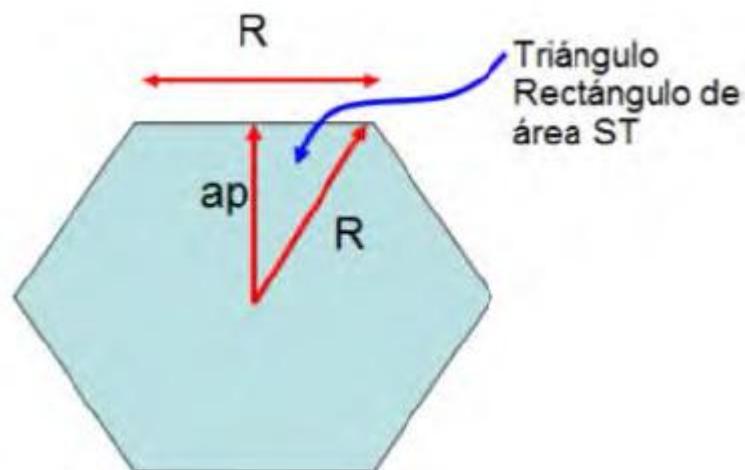
En la Tabla 4.16 se muestra el menor valor de los obtenidos entre el enlace de bajada y subida, el cual es el denominado “Radio del enlace dominante”

Modulación	Enlace de Bajada		Enlace de Subida		Enlace Dominante	
	mínima	máxima	mínima	máxima	mínima	máxima
QPSK	0.6168	1.5008	0.4169	1.0145	0.4169	1.0145
16 QAM	0.3546	0.6168	0.2397	0.4169	0.2397	0.4169
64 QAM	N.A	0.3546	N.A	0.2397	N.A	0.2397

**Tabla 4.15 Radio del Enlace dominante.**

*Fuente: Elaboración Propia*

El área de cobertura de la celda hexagonal será basada en el mayor radio.



**Fig. 4.3 Área de la celda**

*Fuente: Marciano, 2011*

De donde:

$$Area = 12S_T = 12 \times \frac{R}{2} \times a_p \times \frac{1}{2} = 3Ra_p$$

$$Area = 2\sqrt{3}a_p^2$$

$$Area = 2.598R^2 \quad (4.13)$$

Se tiene que  $R_{max} = 1.0145$ , Ahora reemplazando en la ecuación (4.13)

$$Area = 2.6739 K_m^2$$

De acuerdo al tipo de uso de las antenas e diagrama de radiación cubrirá solamente 120°, donde el área real de la celda será.

$$Area_{Celda} = \frac{2.6739}{3} = 0.8913 K_m^2 \quad (4.14)$$

#### 4.2.4. ANILLOS DE COBERTURA POR MODULACION

En la Tabla 4.17 se muestra las distancias que forman cada anillo de modulación, también se indica el área de cobertura y el porcentaje que representa del área total (todo está basado en radios del enlace dominante obtenidos de la Tabla 4.16).

Se debe tener en cuenta que las áreas que se mencionan solo corresponder a un sector de la celda (la estación consta de 3 sectores).

Modulación	Radio mínimo	Radio máximo	Área del anillo hexagonal	Área total	Porcentaje del área total
QPSK	0.4169	1.0145	0.7408	0.8913	83.1131
16 QAM	0.2397	0.4169	0.1007		11.3033
64 QAM	N.A	0.2397	0.0498		5.5836

**Tabla 4.16 Radio del Enlace dominante.**

*Fuente: Elaboración Propia*

### 4.3 CAPACIDADES DE UL Y DL

La capacidad asignada depende del anillo de modulación, los cuales cuenta con una cantidad de recursos proporcionales al porcentaje de área que cubre. Por lo tanto, a la modulación QPSK le corresponde el 83.1131% de los recursos, el 11.3033% a 16 QAM y el 5.5836% le corresponde a 64 QAM. Sin embargo, esta repartición está sometida a la condición de que lo que se le asigne a cada modulación sea un submúltiplo de la cantidad de PRBs asignados, de manera que en cada modulación tengamos un número entero de PRBs.

#### 4.3.1. DISPOSICION DE RECURSOS POR MODULACION

Los sectores cuentan con una cantidad de recursos en el DL que debe ser repartida entre los usuarios. Esta repartición será de manera proporcional al porcentaje de área cubierta por modulación. Esto se debe a que los usuarios se distribuyen de una manera aleatoria y que los recursos se asignan bajo demandas dependiendo de parámetros de QoS y el perfil de cada usuario. En nuestro proyecto se consideró de la siguiente manera:

- ✓ Canalización con un  $BW=20MHz$ , el cual según el estándar nos permite trabajar con 100 PRBs.

- ✓ Uso de un prefijo cíclico normal por lo que cada PRB está constituido por 7 símbolos y 12 portadoras.

- ✓ El ciclo de repetición de los principales canales (control y señalización) es de cada 2 PRB. La cantidad básica de REs disponibles es de 168.

- ✓ Dos símbolos para el canal PDCCH (canal de control), por lo que un total de 168 REs (en una sub-trama o dos slots) nos quedan 144 REs.

- ✓ Sistema de dos antenas para la transmisión, siendo necesario contar con 16 señales de referencia, pero 4 ellas ya fueron considera en los símbolos del PDCCH. Por lo tanto, se tienen 132 REs disponibles.

La capacidad se obtiene con la siguiente ecuación.

$$C = \frac{\#RE + \#Bits \text{ por modulación}}{0.5_{ms}} \quad (4.15)$$

Modulación	Enlace de Bajada			Enlace de Subida		
	PRBs	REs	Peak Rate	PRBs	REs	Peak Rate
QPSK	84	5544	22.176 Mbps	84	5544	22.176 Mbps
16 QAM	10	660	5.8 Mbps	16	1056	8.448
64 QAM	6	396	4.752 Mbps	N.A	N.A	N.A

**Tabla 4.17 Capacidad según su modulación.**

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.3.2. CAPACIDAD TOTAL DEL UL Y DL

La capacidad total, para el enlace de subida y bajada, será la suma de cada una de las capacidades obtenidas por cada modulación. Según la Ecuación 4.16

$$C_{BS} = C_{PSK} + C_{16QAM} + C_{64QAM} \quad (4.16)$$

Modulación	Enlace de Bajada			Enlace de Subida		
	PRBs	Res	Peak Rate	PRBs	Res	Peak Rate
<b>QPSK</b>	84	5544	22.176 Mbps	84	5544	22.176 Mbps
<b>16 QAM</b>	10	660	5.8 Mbps	16	1056	8.448 Mbps
<b>64 QAM</b>	6	396	4.752 Mbps	N.A	N.A	N. A
<b>TOTAL</b>	100	6600	32.204 Mbps	100	6600	30.624 Mbps

**Tabla 4.18 Capacidad total en el enlace de subida y bajada.**

*Fuente: Elaboración Propia*

Las capacidades pico reales alcanzadas por un usuario dependen de muchos factores, por ejemplo, la calidad del canal de radio, el número de usuarios simultáneos en la celda, el tipo de despliegue realizado por el operador, el tipo de servicio considerado y la calidad (QoS) asociada.

Se debe considerar que las capacidades mostrada en la Tabla 4.19 no representan la capacidad total del eNB, es lo que se puede dar en un momento dado suponiendo que los usuarios están distribuidos en la misma proporción del área de cobertura de cada anillo, caso contrario se obtendrán resultados diferentes.

#### 4.4 CAPACIDAD REQUERIDA POR LOS USUARIOS

Se han realizado cálculos para conocer cuáles son las características del servicio que ofrece la red (cobertura y capacidad). En esta parte del proyecto se analizará cual es la demanda de servicios y capacidad de los usuarios para lo cual es necesaria la información proveniente de estudios de mercado.

Nuestra red prestará servicios de voz y servicio de datos, tanto a usuarios individuales como a corporativos. La información de mercado nos da la cantidad y el perfil de cada tipo de usuarios, y se quiere calcular la capacidad que debe tener un eNB para cubrir el tráfico ofrecido.

#### 4.4.1. TIPO DE SERVICIOS

En este apartado se determinará la calidad de servicio que se ofrecerá a los usuarios de esta tecnología, con la finalidad de cubrir la demanda que actualmente se tiene en Sechura.

En este proyecto se a determinado brindar servicios de:

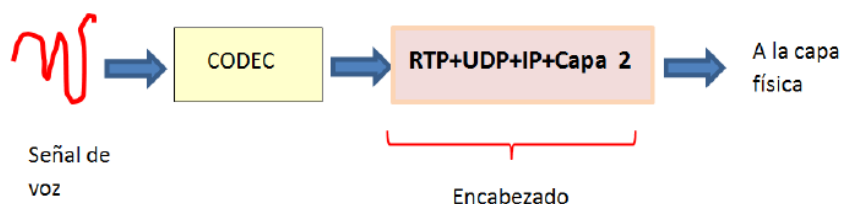
- ✓ VoIP.
- ✓ Internet.

Para ambos servicios se utilizaron diferentes modelos que nos permitan calcular la tasa de transmisión que se ofertara.

##### ✓ **VoIP:**

Este servicio se refiere a la transmisión de voz paquetizada cuyos paquetes usan el protocolo IP en la capa 3. Para paquetizar la voz y enviarla usando IP se deben realizar una serie de procesos, tales como la codificación y transporte en una red IP.

La codificación de la voz consiste en transformar la voz analógica en paquetes de voz por medio de un CODEC para luego enviarla a las capas inferiores, este proceso se puede observar en la Figura 4.4. Existe una gran cantidad de técnicas de codificación con diferentes requerimientos en cuanto a tasa de bits (G.711, G.722, G.722.1, G723.1, G728, G729 y AMR).



**Fig. 4.4 Codificación de la VoIP**

*Fuente: Marcano, 2011*

La tasa de transmisión del CODEC depende de cada tipo. El encabezado de IP depende si es IPv4 o IPv6, y la capa 2 depende de cada tecnología.

Uno de los CODEC más usados en tecnologías inalámbricas es el CODEC AMR, el cual esta estandarizado por el 3GPP. AMR ofrece un amplio rango de bit rates que va desde 4.75 Kbps hasta 12.2 Kbps,



incorpora un sistema de detección de voz y un generador de ruido confort para reducir la cantidad de bits enviados durante los periodos de silencio.

En nuestra planificación se usará un CODEC de voz del tipo AMR Full Rate (12.2 Kbps) con detección de silencio y la capa 3 usará IPv6. (Baltazar, 2013)

#### ✓ **INTERNET**

Los modelos de tráfico de internet no suministran información sobre la tasa de bits que necesitan las diferentes aplicaciones con las que se cuenta, en especial http. Los operadores hacen un estimado sobre la tasa de bits con la cual se espera que los usuarios estén satisfechos. En nuestro proyecto se asignará una tasa de 512 Kbps para usuarios individuales mientras que para empresas se otorgaran tasas de 2 Mbps para las de mayores demandas y 1 Mbps para las otras.

## **4.5 CALCULO DE LA CANTIDAD DE ESTACIONES BASE**

En un principio se tomará en cuenta la población con mayor demanda y el sector empresarial. Para que en una segunda fase una vez recuperada la inversión se proceda a incrementar la cobertura permitiendo el acceso al servicio a toda la población. Una fase final será el brindar nuevos y mejores servicios y dar mayor calidad.

Se debe tener en cuenta que como fase inicial se ha considerado una proyección de incremento de clientes hasta dentro de 4 años. En la Tabla 4.21 se detalla los incrementos de clientes según el tipo de servicio durante este periodo.

Servicio	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Internet	30.00%	50.00%	70.00%	80.00%
VoIP	30.00%	50.00%	70.00%	80.00%
Pyme Regular	5.00%	10.00%	13.00%	15.00%
Pyme Premium	1.00%	2.50%	4.00%	5.00%

**Tabla 4.19 Porcentaje de clientes según servicio y año**

*Fuente: Elaboración Propia*

Por tratarse de una fase inicial, se ofrecerán servicios con tasas relativamente bajas. En la Tabla 4.21 se muestra el número de clientes proyectados para el Año 4.

Servicio	Tasa (Kbps)	Factor de reventa	Cientes año 4
Internet	512	40	543
VoIP	10.6854	1	543
Pyme Regular	1000	1	946
Pyme Premium	2000	1	315
TOTAL	N.A	N.A	11347

**Tabla 4.20 Servicios a prestar por la red**

*Fuente: Elaboración Propia*

Se debe calcular la capacidad total demanda por los clientes, según se detalla en la Ecuación 4.17.

$$C_{Tot\_Dem} = C_{int} + C_{VoIP} + C_{PYME\_Regular} + C_{PYME\_Premium} \quad (4.17)$$

Donde:

$C_{Tot\_Dem}$ : Capacidad Total Demandada

$C_{int}$ : Capacidad ofrecida a los usuarios individuales de Internet.

$C_{VoIP}$ : Capacidad ofrecida a los usuarios individuales de VoIP.

$C_{PYME\_Regular}$ : Capacidad ofrecida a los usuarios PYME Regulares de Internet.

$C_{PYME\_Premium}$ : Capacidad ofrecida a los usuarios PYME Premium de Internet.

Desde el punto de vista económico las operadoras revenden sus servicios, es decir, que la cantidad de usuarios a los que vende sus servicios es mayor a la cantidad de usuarios que su red puede atender de manera simultánea. Para los servicios de Internet no existe una metodología establecida que nos permita determinar un valor fijo de reventa, los operadores lo van monitoreando y ajustando a la capacidad de la red, manteniendo parámetros de calidad de servicio. En cambio, el servicio de voz se maneja con otra perspectiva.

Para el servicio de Internet (individual), se tendrá como máximo 5043 clientes, por lo tanto, la cantidad de concurrentes será de 127 clientes

(factor de reventa igual a 40). Si a cada usuario se le debe garantizar 512 Kbps, entonces el servicio de acceso a Internet individual demanda una capacidad total:

$$C_{int} = 512kbps \times 127$$

$$C_{int} = 65024 Mbps \text{ (4.18)}$$

En el VoIP se aplica un criterio de factor de reventa diferente al del servicio de Internet, debido a que en VoIP se debe mantener una calidad de servicio por ser en tiempo real y sensible a los retardos.

En nuestro proyecto se busca tener la misma calidad de servicio que la PSTN, por lo cual se usará la misma metodología. Para ello se consideran llamadas de 3.5 minutos de duración promedio, el cual será expresado en Erlang.

$$\text{Duracion promedio de una llamada} = \frac{3.5}{60} = 0.0583 \text{ Erlang}$$

Este valor obtenido representa el tráfico ofrecido a cada cliente. Para el cálculo del tráfico que puede soportar la red en VoIP se usará el modelo Erlang B el cual entre sus premisas se tiene que:

- ✓ La cantidad de usuarios es muy grande.
- ✓ Las llamadas llegan en forma aleatoria de acuerdo a una distribución de Poisson.
- ✓ Las llamadas se atienden según el orden de llegada.
- ✓ Las llamadas bloqueadas se pierden.
- ✓ El tiempo de duración de las llamadas sigue una distribución exponencial.

Este servicio deberá contar con 5043 clientes, por lo tanto, calcularemos el tráfico total que tendrá que ofrecer la red, manteniendo un grado de calidad. El tráfico total ofrecido será calculado con la Ecuación 4.19.

$$T_{total} = U_{ind\_VoIP} \times T_{ind} \text{ (4.19)}$$

Donde:

$T_{total}$ : Tráfico total ofrecido por la red.

$T_{ind}$ : Tráfico ofrecido a cada cliente individual.

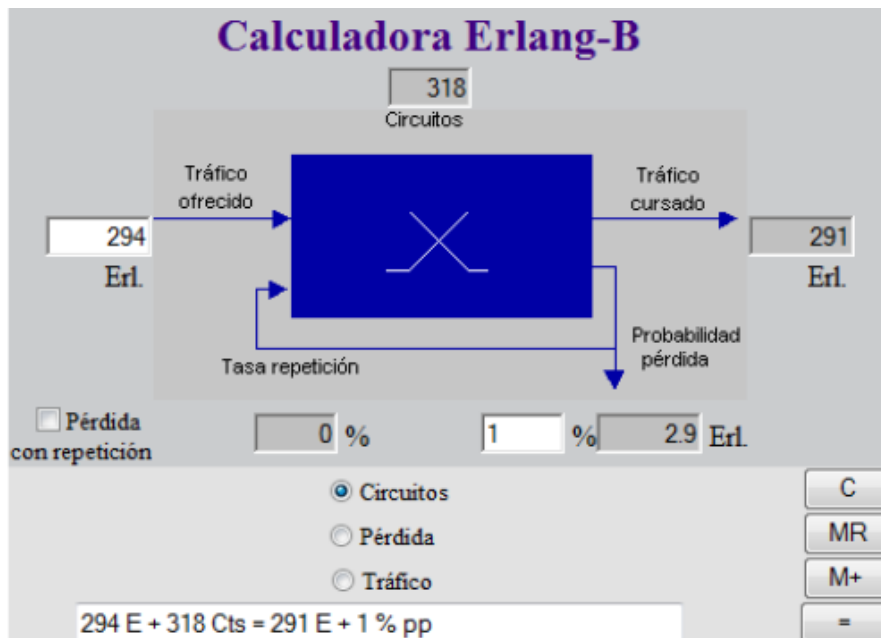
En nuestro caso es 0.0583 Erlang, por consiguiente:

$$T_{total} = 5043 \times 0.0583 = 294.0069 \text{ Erlang}$$

Usando la calculadora de Erlang B realizaremos el cálculo de la cantidad de líneas necesarias para soportar el tráfico requerido por los clientes. En la Figura 4.5 se muestra los cálculos realizados con la calculadora de Erlang B.

Se puede apreciar que considerando una probabilidad de bloqueo del 1% y un tráfico de 294 Erlangs se necesitara contar con 318 líneas. La capacidad del servicio de VoIP es calculada con la Ecuación 4.20:

$$C_{VoIP} = \#Lineas \times T_{ind} \text{ (4.20)}$$



**Fig. 4.5 Cálculo de líneas para el servicio de VoIP usando la calculadora de Erlang.**

*Fuente: <http://personal.telefonica.terra.es/web/vr/erlang/index.htm>*

Considerando los valores obtenidos con la calculadora de Erlang B y que cada línea consume 10.6854 Kbps (CODEC AMR Full Rate 12.2 Kbps) tenemos:

$$C_{ind\_VoIP} = 318 \times 10.6854$$

$$C_{ind\_VoIP} = 3.398 \text{ Mbps (4.21)}$$

A los servicios PYMEs se les debe garantizar una calidad de servicio por lo que no se les aplica factor de reventa. Las capacidades requeridas serán:

$$C_{PYME\_Regular} = 1024 \times 946 = 968.704 \text{ Mbps (4.22)}$$

$$C_{PYME\_Premium} = 2048 \times 315 = 645.120 \text{ Mbps (4.23)}$$

A partir de los resultados de las Ecuaciones 4.20, 4.21, 4.22 y 4.23 se concluye que la capacidad real que será demandada por los clientes es la detallada en la Tabla 4.21.

Servicio	Capacidad
Internet	65.0240
VoIP	3.3398
Pyme Regular	968.7040
Pyme Premium	1032.1920
<b>TOTAL</b>	<b>2069.2598</b>

**Tabla 4.21 Resumen de las cantidades demandadas en la red**

*Fuente: Elaboración Propia*

Para poder realizar los cálculos de cantidad de estaciones bases necesarias para cubrir la demanda de capacidades calculada, debemos definir la densidad de datos, según la ecuación 4.24

$$D_{Datos} = \frac{C_{Tot\_Dem}}{A_{Total}} \text{ (4.24)}$$

Donde:

$$D_{Datos} : \text{Densidad de datos: } \left( \frac{\text{Mbps}}{\text{Km}^2} \right)$$

$$A_{Total} : \text{Area total a cubrir: Km}^2$$

Teniendo en cuenta el área total del distrito de Sechura  $36.39 \text{ Km}^2$ , se uso los datos de la tabla 4.22 y se reemplazaron en la ecuación 4.24:

$$D_{Datos} = \frac{2069.2598}{36.39}$$

$$D_{Datos} = 52.5742 \frac{Mbps}{Km^2}$$

Conociendo el área de cobertura de cada sector podemos calcular la capacidad que debe tener cada una, según la ecuación 4.25.

$$C_{Cel\_Req} = D_{Datos} \times A_{Sector} \quad (4.25)$$

Donde:

$C_{Cel\_Req}$ : Capacidad requerida por la celda.

$A_{Sector}$ : Area del sector.

Reemplazando tenemos:

$$C_{Cel\_Req} = 52.5742 \times 0.8913$$

$$C_{Cel\_Req} = 46.8593 \text{ Mbps}$$

El valor obtenido representa la máxima capacidad requerida por los usuarios a la cual será sometido cada sector. En los cálculos realizados se obtuvo que la máxima capacidad útil que puede ofrecer cada eNB es de 54.7536 Mbps. Por lo cual se concluye que el eNB podrá soportar la demanda de capacidad de los clientes.

En caso de que el eNB no hubiese podido soportar la demanda de capacidad, este inconveniente se podría superar de las siguientes maneras:

- ✓ Disminuir la potencia de transmisión en el enlace de subida con el objetivo de disminuir el área de cobertura del eNB.
- ✓ Habilitar otra portadora.

La cantidad de sectores,  $N_{Sectores}$ , se obtiene dividiendo el área a cubrir entre el área de cobertura de cada sector del eNB.

$$N_{Sectores} = \frac{A_{Total}}{A_{Sector}} \quad (4.26)$$

$$N_{Sectores} = \frac{36.39}{0.8913}$$

$$N_{Sectores} \cong 42$$

En nuestro caso obtenemos 42 sectores, pero en nuestro diseño se ha considerado que cada celda cuenta con 3 sectores, entonces se necesitan 14 estaciones base. La separación mínima entre estaciones se calcula con la Ecuación 4.26:

$$S_{eNB} = R\sqrt{3} \quad (4.26)$$

Se sabe que  $R = 1.0145$

$$S_{eNB} = 1.0145\sqrt{3}$$

$$S_{eNB} = 1.7571 K$$

#### 4.6 RED DE ACCESO

Habiéndose determinado que para poder establecer una cobertura total en el distrito de Sechura se necesitará instalar 15 eNBs. Por temas económicos todo proyecto se trabaja en fases. Este proyecto se establecerá en 3 fases, según:

- ✓ Fase inicial, en donde se instalarán los primeros eNB.
- ✓ Fase intermedia, ampliación de la cobertura.
- ✓ Fase final, optimización de la red.



**Fig. 4.6 ubicación de los NBs ubicados por Claro en el distrito de Sechura.**

*Fuente: Elaboración Propia*

En la Tabla 4.22 se detalla la ubicación geográfica y número de sectores de cada eNB.

Estación Base	Longitud (Oeste)	Latitud (Sur)	Nº Sectores
eNB1	80°49'10.96"	5°33'14.18"	3
eNB2	80°49'28.71"	5°33'23.41"	3
eNB3	80°48'50.13"	5°33'33.74"	3
eNB4	80°49'11.87"	5°33'41.68"	3
eNB5	80°49'34.51"	5°33'48.08"	3
eNB6	80°48'58.39"	5°34'1.41"	3
eNB7	80°49'22.26"	5°34'11.22"	2

**Tabla 4.22 Ubicación Geográfica de los eNBs.**

*Fuente: Elaboración Propia*

Se debe garantizar que cada uno de los nodos posea una línea de vista lo suficientemente buena para realizar una buena distribución de la señal a los usuarios y además permita la implementar los microondas necesarios para la Red de Transporte. Para esto, se hizo una visita a la ciudad de Sechura, en donde se realizó un estudio de campo y se tomaron los siguientes datos para la instalación de los sectores en cada eNB.

✓ **ENB 1:** Es el nodo principal de nuestra red puesto que representa el punto de acceso a la red Core que actualmente está implementada en la zona por la empresa América Móvil. Se encuentra ubicada la Av. Luis Eguiguren con la calle El porvenir. Tiene como objetivo cubrir zona del norte. Se usará una torre cuadrangular auto soportada de 40 m y su sectorización es detallada en la Tabla 4.23.

Sector	Azimut
1	90°
2	210°
3	330°

**Tabla 4.23 Resumen de la cobertura del eNB 1.**

*Fuente: Elaboración Propia*

✓ **ENB 2:** Se encuentra ubicado en la Calle Dos de mayo. Tiene como objetivo cubrir zona del sur oeste. Se usará una torre monopolo de 30 m y su sectorización es detallada en la Tabla 4.24.

Sector	Azimut
1	30°
2	150°
3	270°



**Tabla 4.24 Resumen de la cobertura del eNB 2.**

*Fuente: Elaboración Propia*

- ✓ **ENB 3:** Ubicado en la Av. Brasil en el AA.HH San Juan Bautista. Tiene como objetivo cubrir zona del sur oeste. Se usará una torre monopolo de 30 m y su sectorización es detallada en la Tabla 4.25.

Sector	Azimut
1	100°
2	220°
3	340°

**Tabla 4.25 Resumen de la cobertura del eNB 3.**

*Fuente: Elaboración Propia*

- ✓ **ENB 4:** Ubicado en el centro del distrito de Sechura. Tiene como objetivo cubrir zona del sur oeste. Se usará una torre monopolo de 30 m y su sectorización es detallada en la Tabla 4.26.

Sector	Azimut
1	10°
2	130°
3	250°

**Tabla 4.26 Resumen de la cobertura del eNB 4.**

*Fuente: Elaboración Propia*

- ✓ **ENB 5:** Localizado en el AA. HH Ciudad del Pescador, cuyo objetivo es abarcar la sur oeste, para ello se usará una torre tipo monopolo de aproximadamente 30m y su sectorización se muestra en la tabla 4.27.

Sector	Azimut
1	40°
2	160°
3	280°

**Tabla 4.27 Resumen de la cobertura del eNB 5.**

*Fuente: Elaboración Propia*

- ✓ **ENB 6:** Ubicado en la Av. Brasil, cubriendo la zona sur este del distrito, se usará una torre tipo monopolo de aproximadamente de 30m y su sectorización se muestra en la tabla 4.28.

Sector	Azimut
1	120°
2	240°
3	360°

**Tabla 4.28 Resumen de la cobertura del eNB 6.**

*Fuente: Elaboración Propia*

✓ **ENB 7:** Localizado en el AA. HH San Francisco, cuyo objetivo es abarcar la sur, para ello se usará una torre tipo monopolo de aproximadamente 30m y su sectorización se muestra en la tabla 4.30.

Sector	Azimut
1	20°
2	140°

**Tabla 4.29 Resumen de la cobertura del eNB 7.**

*Fuente: Elaboración Propia*

## 4.7 RED DE TRANSPORTE

En cuanto a la red de transporte, nuestro proyecto de red LTE es una tecnología que requiere altas capacidades de transmisión. En una red de transmisión tenemos dos opciones típicas: el uso de microondas o fibra óptica.

Nuestra red de transporte estará basada en el uso exclusivo de enlaces de microondas entre las estaciones. Estos enlaces tendrán las siguientes características:

Enlaces de 300 Mbps de capacidad.

Configuración 1+1.

Topología de estrella.

Se usará la banda de 7 GHz.

Canalización con BW=56 MHz

Los equipos de Microondas a usarse serán los MPT 9500 Rel. 3.0.0 Microwave Packet Radio del proveedor Alcatel Lucent, Estos equipos son los que actualmente la empresa América Móvil Perú está usando para la expansión de su red a nivel nacional.

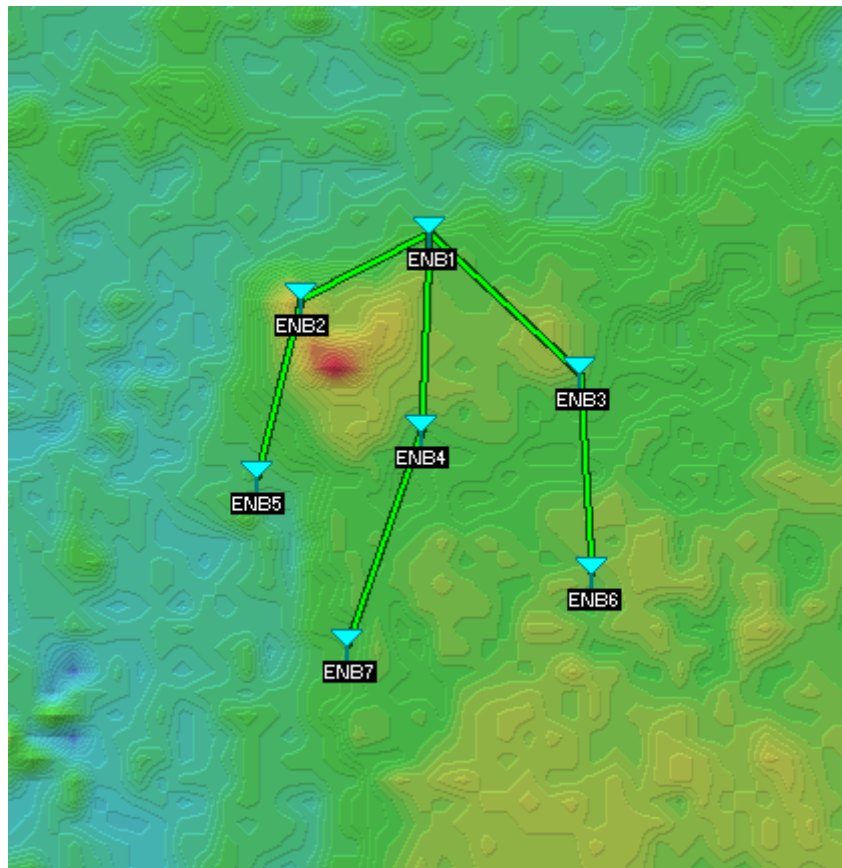
Característica	Valor
Banda	7GHz
Frecuencia	7.125 – 8.275 GHz
Modulación	256 QAM (Adaptativa)
Ancho de Banda	56 MHz
Potencia Máxima	18dBm
Sensibilidad (10–6)	-77 dBm

**Tabla 4.30 Especificaciones Técnicas del Microondas**

*Fuente: Elaboración Propia*

La canalización que utilizaremos será la de la banda de 7 GHz con un BW igual a 56 MHz. Esta asignación de frecuencias es regularizada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones mediante un Plan Nacional de Asignación de Frecuencias (PNAF). En la Tabla 4.31 se indican las canales que tenemos disponibles.

Ahora que ya se mencionaron las premisas del diseño de la Red de Transporte procederemos a detallar los cálculos de propagación y garantizar las líneas de vista para cada enlace propuesto. En la Figura 4.10 se muestra de manera general la topología de la red.



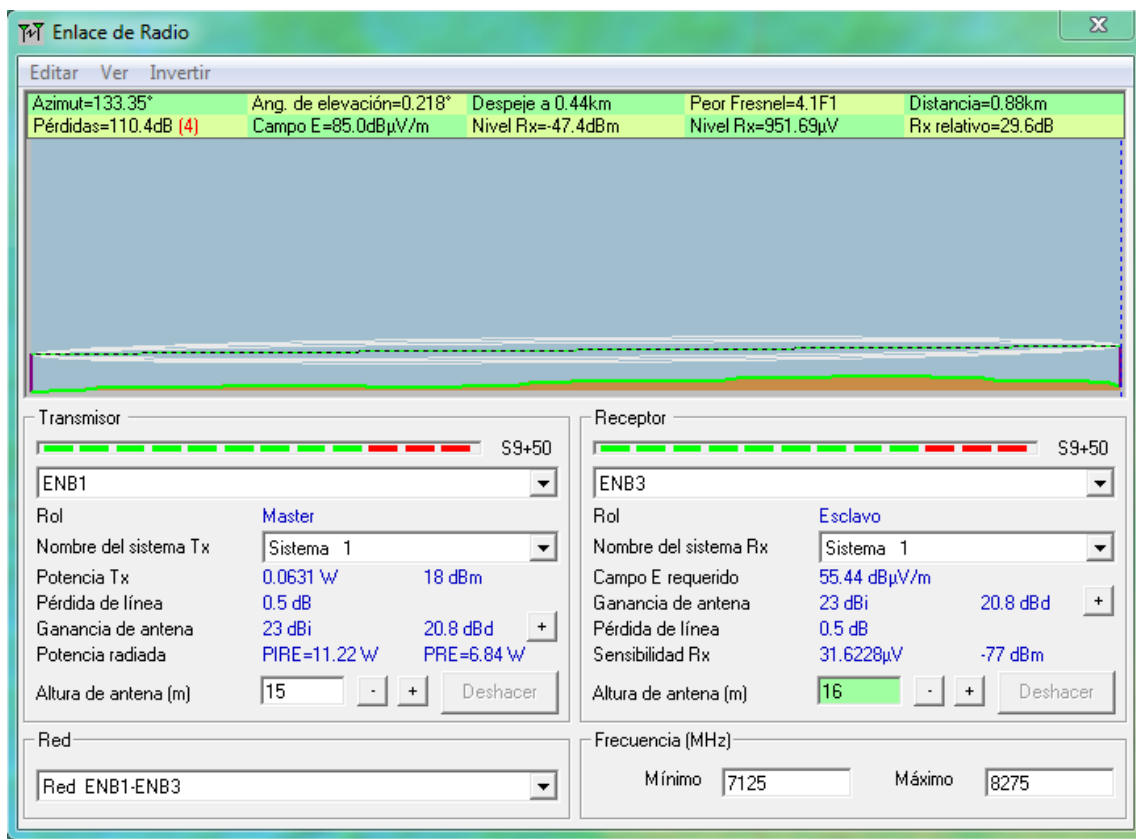
**Fig. 4.7 Topología de red de transporte.**

*Fuente: Elaboración Propia (Radio Mobile)*



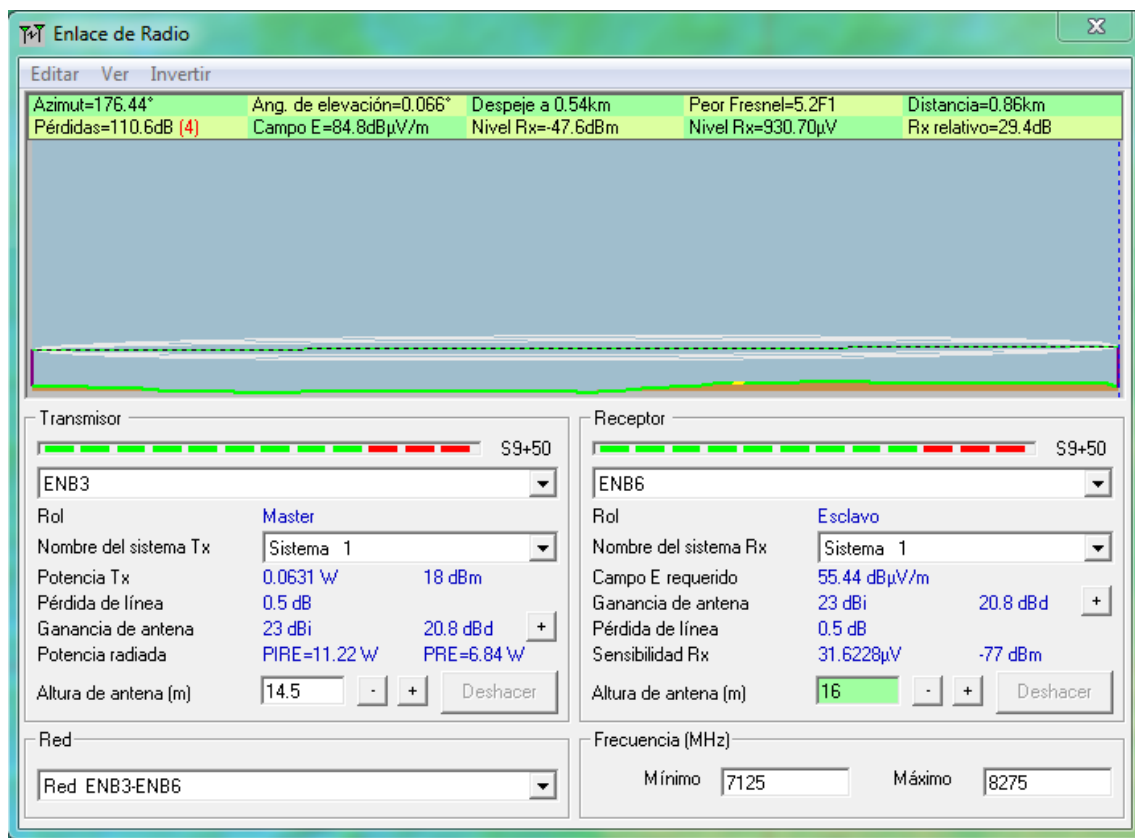
**Fig. 4.7 Topología de red de transporte.**

*Fuente: Elaboración Propia (Google Earth)*



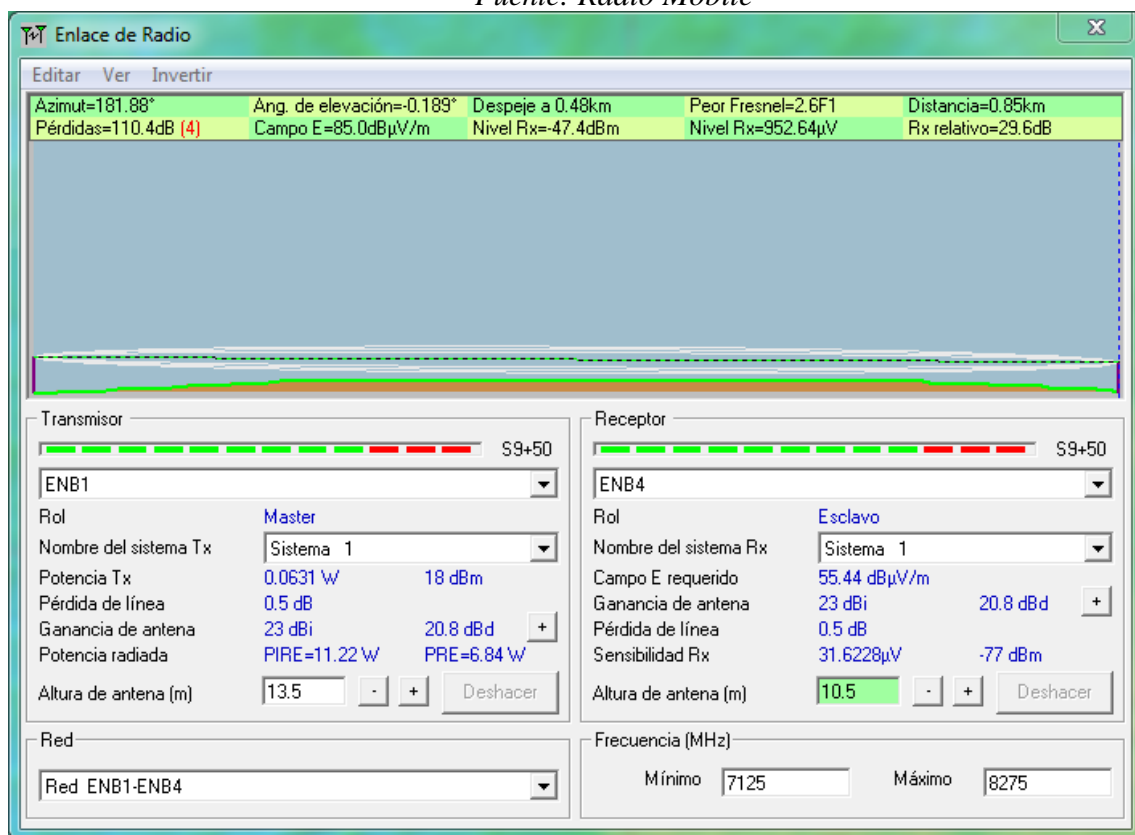
**Fig. 4.8 Perfil del Enlace ENB 1 y ENB 3**

*Fuente: Radio Mobile*



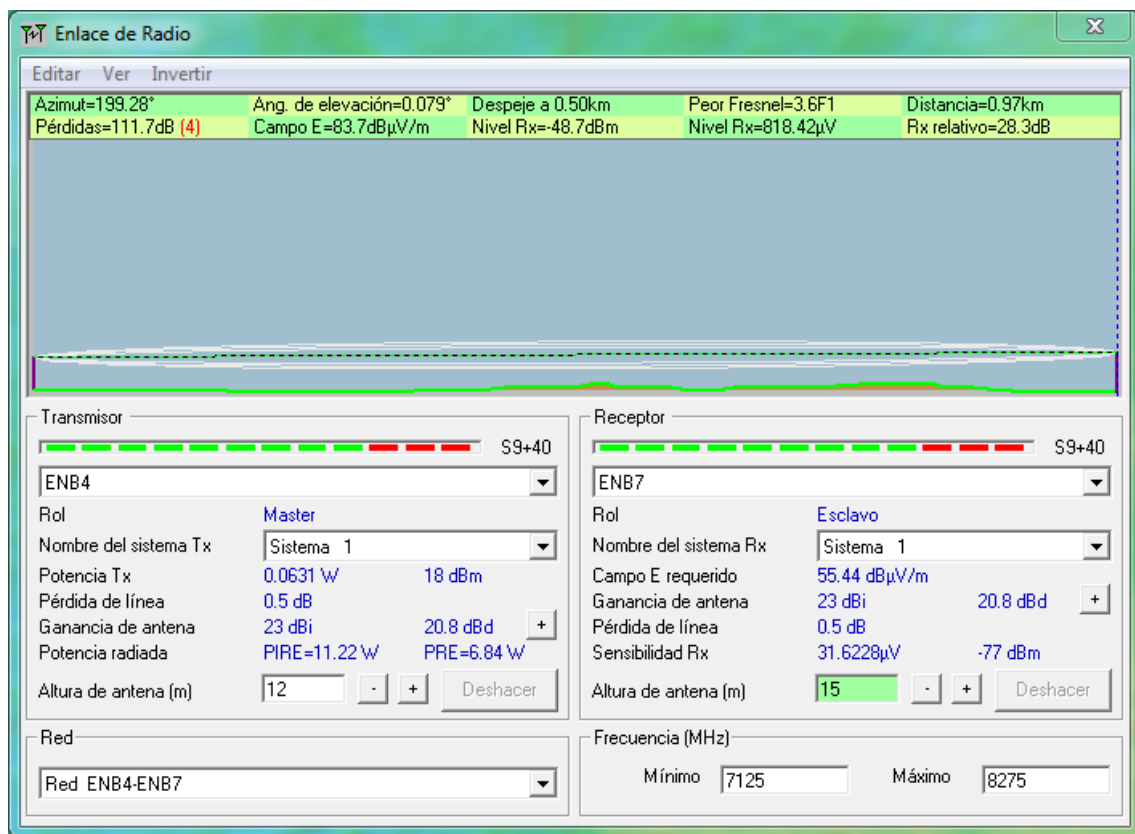
**Fig. 4.9 Perfil del Enlace ENB 3 y ENB 6**

*Fuente: Radio Mobile*



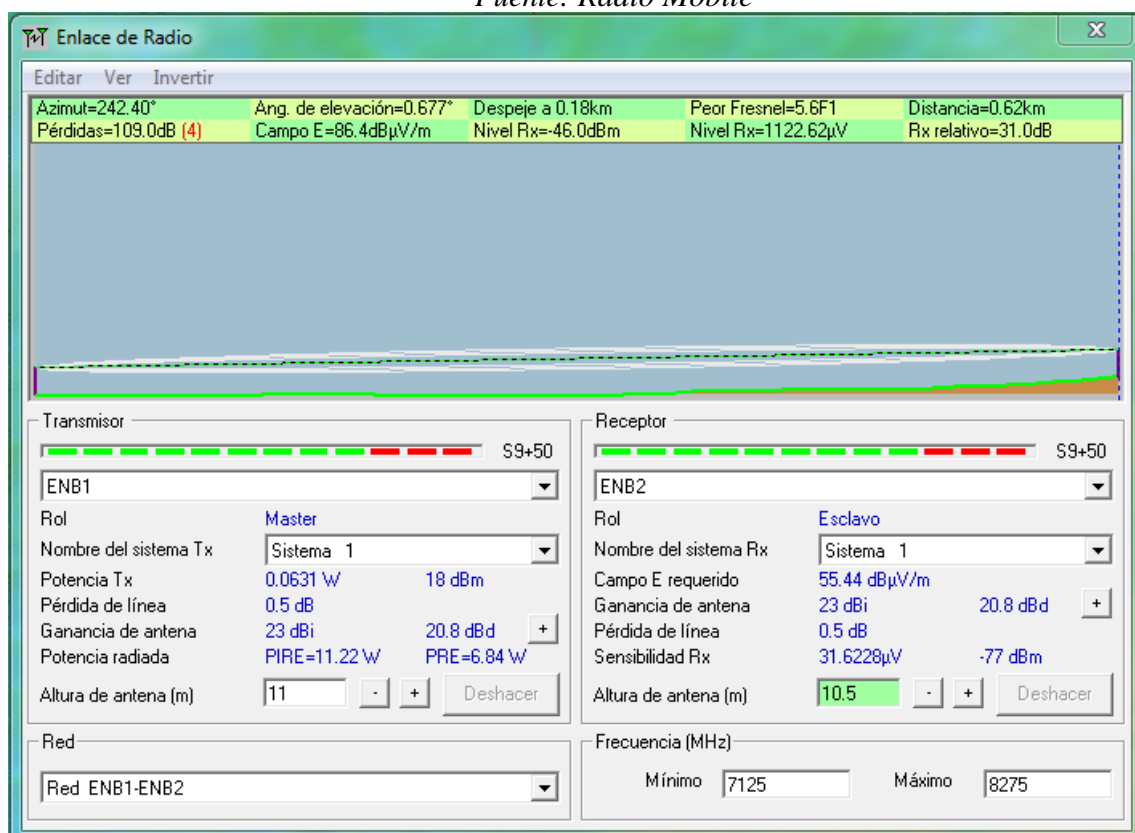
**Fig. 4.10 Perfil del Enlace ENB 1 y ENB 4**

*Fuente: Radio Mobile*



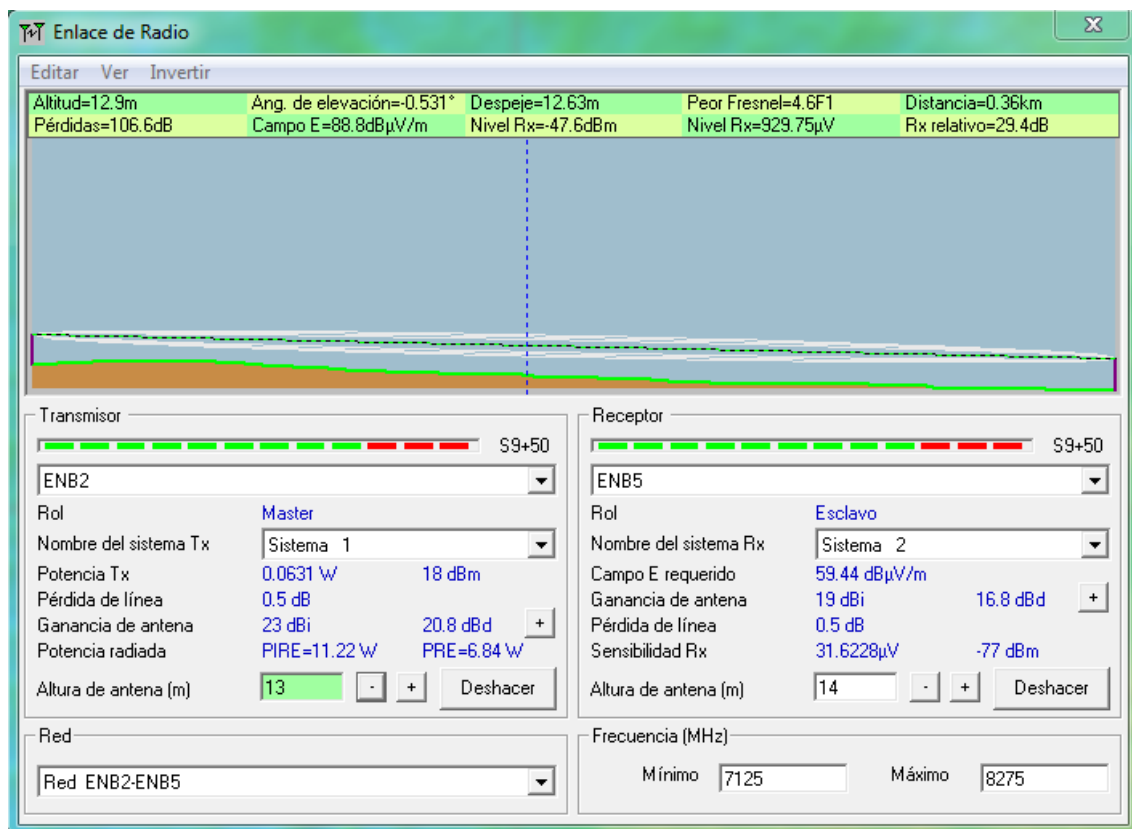
**Fig. 4.11 Perfil del Enlace ENB 4 y ENB 7**

*Fuente: Radio Mobile*



**Fig. 4.12 Perfil del Enlace ENB 1 y ENB 2**

*Fuente: Radio Mobile*



**Fig. 4.13 Perfil del Enlace ENB 2 y ENB 5**

*Fuente: Radio Mobile*

Se debe tener en cuenta que en los perfiles simulados se ha garantizado el 100% de la primera Zona de Fresnel y el factor K igual a 2/3.

A continuación, se procederá a la selección de canales a usar en cada uno de los enlaces. En la Tabla 4.32 se señalan los canales a usar en cada enlace.

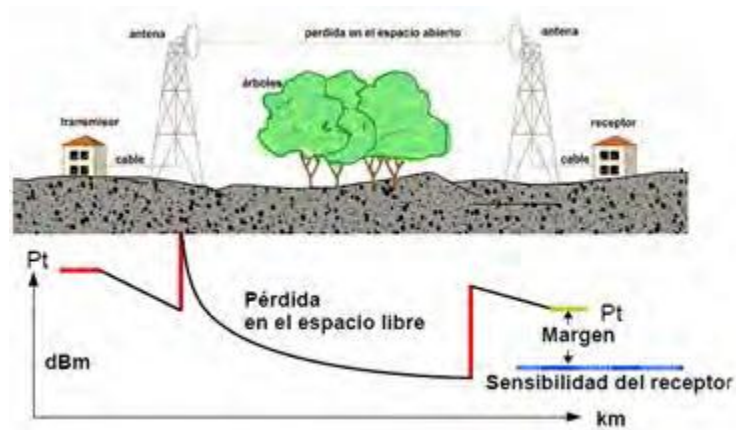
Enlace	Banda	Canal	Frecuencia Ida MHz	Frecuencia Vuelta MHz
eNB1 - eNB2	7	1	7135	7191
eNB1 - eNB3	7	3	7240	7296
eNB1 - eNB4	7	5	7355	7411
eNB2 - eNB5	7	7	7460	7516
eNB3 - eNB6	7	9	8000	8056
eNB4 - eNB7	7	11	8125	8181

**Tabla 4.32 Asignación de Canales.**

*Fuente: Elaboración Propia*

Una vez definida nuestra topología se procederá con los cálculos de las pérdidas de propagación para cada uno de los enlaces. En la Figura 4.14 se muestra el método de cálculo a usarse.





**Fig. 4.14 Pérdida en el espacio libre**

*Fuente: Baltazar, 2013*

La potencia recibida por el receptor, cuando la propagación se da en espacio libre y en condiciones ideales, se puede calcular a partir de la fórmula de Friis:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{TX} - L_{RX} - L_P \quad (4.27)$$

Donde:

$P_{TX}$ : Potencia de transmision

$P_{RX}$ : Potencia de Recepcion

$G_{TX}$  : Ganacia de transmicion

$G_{RX}$ : Ganancia de Recepcion

$L_{TX}$  y  $L_{RX}$ : Pérdida de cables y conectores por trayectoria

$L_P$  : Pérdida por trayectoria en el espacio libre

$$L_P = 32.4 + 20 \times \text{Log} f_c + 20 \times \text{Log} d \quad (4.28)$$

$f_c$  = Frecuencia Central (MHz)

$d$  = Distacia del enlace (Km)



## 4.8 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL EQUIPAMIENTO

Para la red de acceso, el eNB a usar para el despliegue serán los Flexi multiradio de Nokia Siemens Networks.

Entre las principales características de este equipo tenemos:

- ✓ La Flexi multiradio es una multi-portadora que puede utilizar todas esas tecnologías de red tales como GSM / EDGE, WCDMA y LTE.
- ✓ Permite usar el espacio de las instalaciones existentes en forma eficiente, los módulos existentes de la Flexi GSM (modelo precedente) se pueden instalar junto con los módulos de la Flexi multiradio.
- ✓ Se pueden utilizar con la Flexi multiradio las baterías existentes de Flexi EDGE, carcasas, fuentes de alimentación y los módulos Flexi 3G.

En la Tabla 4.33 se muestran algunas de sus especificaciones técnicas y la Figura 4.15

Frecuencia, BW (Tx/Rx)	850MHz, 15/15MHz	900MHz, 20/20MHz	900MHz, 20/30MHz	1900MHz, 20/20MHz
GSM TRXs	6+6+6	6+6+6	6+6+6	6+6+6
Portadoras WCDMA	2+2+2	4+4+4	4+4+4	4+4+4
Ancho de banda de LTE	1.4/3/5/10	1.4/3/5/10/15/20	1.4/3/5/10/15/20	1.4/3/5/10/15/20
Potencia de salida/sector	60W	60W	60W	60W
Modo compartido Soportado por HW	GSM/LTE GSM/WCDMA GSM/WCDMA/LTE GSM 444 MHz 5 GSM 333 MHz 10	GSM/LTE GSM/WCDMA GSM/WCDMA/LTE WCDMA/LTE	GSM/LTE GSM/WCDMA GSM/WCDMA/LTE WCDMA/LTE	GSM/LTE GSM/WCDMA GSM/WCDMA/LTE WCDMA/LTE

**Tabla. 4.33 Especificaciones RF del eNB Flexi multiradio**

*Fuente: Baltazar, 2013*



**Fig. 4.15 eNB Flexi multiradio**

*Fuente: Baltazar, 2013*

Se debe tener en cuenta que actualmente la empresa América Móvil está instalando este modelo a nivel nacional para brindar servicios 2G y 3G lo cual significaría un ahorro de CAPEX para el despliegue de la red LTE puesto que solo se necesitaría realizar una actualización de software e instalación de tarjetas.

En la red de transporte como se mencionó anteriormente el modelo de MW a instalar serán los MPT 9500 Rel. 3.0.0 Microwave Packet Radio del proveedor Alcatel-Lucent.

En la Tabla 4.34 se muestran sus principales especificaciones técnicas de este equipo de MW.

<b>General with ODU300</b>		
Operating Frequency Range	6 - 38 GHz	
Max Ethernet throuput	from 10 up to 310 Mbit/s	
Modulation Options in FCM	4 QAM, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM, 256 QAM	
Adaptive Modulation	4 QAM, 16 QAM, 64 QAM,	
<b>General with MPT-HC/MPT-HC V2</b>		
Operating Frequency Range	6 - 38 GHz	
Max Ethernet throuput	340 Mbit/s	
Bandwidth	up to 56 MHz	
Modulation Options in FCM	4 QAM, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM, 256 QAM	
Adaptive Modulation	4 QAM, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM, 256 QAM	
<b>General with MPT-MC</b>		
Operating Frequency Range	6 - 38 GHz	
Max Ethernet throuput	155 Mbit/s	
Bandwidth	up to 28 MHz	
Modulation Options in FCM	4 QAM, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM	
Adaptive Modulation	4 QAM, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM	
<b>Radio Path Protection Options</b>		
Non Protected, 1+0 Protected Hot Standby, 1+1 Space Diversity, 1+1 Frequency Diversity, 1+1 (with ODU300, MPT-HC/MPT-HC V2) Radio LAG with two radio channels		
<b>MSS Power supply</b>		
Input voltage range	-40.5 to -57.6 Vdc	The input voltage range can be also from -57 to -60 Vdc without any damage, but with no guaranteed performance

**Tabla. 4.34 Especificaciones Técnicas del MTP 9500**

*Fuente: Baltazar, 2013*



**Fig. 4.16 Equipo microondas MTP 9500 de Alcatel - Lucent**  
*Fuente: [Www.Alcatel.Lucent.gob](http://www.Alcatel.Lucent.gob)*

## CAPITULO V: ASPECTOS ECONOMICOS

El objetivo de este capítulo es analizar los aspectos económicos del proyecto teniendo en cuenta los costos de inversión e instalación, conocidos como CAPEX (Capital Expenditures) y los costos de operación, conocidos como OPEX (Operation Expenditures). Esto nos permitirá determinar la factibilidad de implementar una red LTE en la ciudad de Sechura.

### 5.1 COSTOS DE INVERSIÓN E INSTALACIÓN.

Se considera como costos de inversión a la implementación de la red de acceso, la red de transporte y la actualización del software y hardware necesarios en el Core (actualmente la empresa Claro cuenta con un Core descentralizado).

Detalles	Cantidad	Precio	Total
<b>Red de acceso:</b>			
Equipos terminales	2000	300	600000
Estaciones Base (eNB)	7	26000	182000
Antenas RF (Feeders y conectores)	18	500	9000
<b>Red de transporte:</b>			
Enlaces de MW	6	30000	180000
<b>Core:</b>			
Software			30000
Hardware			50000
<b>Infraestructura:</b>			
Adecuaciones a torres	7	800	5600
<b>TOTAL CAPEX</b>			<b>1056600</b>

**Tabla 5.1 CAPEX del proyecto**

*Fuente: Elaboración Propia*

Empezaremos estimando los costos de la implementación de la Red de Acceso la cual asumirá costos de los equipos terminales, sistema radiante, infraestructura, entre otros. La Red de Transporte básicamente asumirá la compra de los equipos de microondas. Mientras que el Core cubrirá los gastos de licencias y/o tarjetas necesarias para realizar un up-grade de los equipos actuales.

Todos los elementos y costos serán considerados teniendo en cuenta que esta red es parte del despliegue de una operadora existente en el medio (en nuestro caso Claro). El uso de algunos recursos ya existente nos permite reducir costos considerablemente.

## 5.2 COSTOS DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

Consiste en un estimado de los costos post implementación que surgirán durante los años de operatividad de la red.

Al ser parte del despliegue de un operador ya existente en la zona, se podrá dejar de considerar gastos como: alquiler de local, pago de licencia a las municipalidades, pago a vigilantes, personal de operación y mantenimiento en campo (O&M), costos de interconexión, entre otros.

Un gasto relevante que no será considerado es el originado por el Canon de uso de frecuencias. Cuando una empresa realiza la adquisición de una banda lo hace para usarlo a nivel nacional y no de manera exclusiva en un departamento. Por lo tanto, no se puede adicionar este costo al proyecto, de lo contrario este se incrementará considerablemente.

A continuación, se detalla en la Tabla 5.2 los gastos con instituciones públicas relacionadas con las telecomunicaciones.

Empresa	Gasto de los ingresos
Fitel	1%
Osiptel	0.50%
MTC	0.50%

**Tabla 5.2 Gastos por instituciones de telecomunicaciones**

*Fuente: Elaboración Propia*

Se debe considera que el precio del OPEX ira cambiando con el transcurrir de los años de vida del proyecto.

## 5.3 ESTUDIO ECONOMICO

Una vez definido el CAPEX y OPEX de la implementación de la red es necesario definir si el proyecto es factible económicamente y conocer el tiempo de retorno de la inversión. Previamente se debe realizar un estimado de los ingresos proyectados para luego poder realizar el análisis del flujo de caja y poder definir la factibilidad.

### 5.3.1 INGRESOS

Los ingresos derivan directamente de la cantidad de líneas que serán adquiridos por los clientes y estarán en servicio dentro de nuestra red. Nuestra estrategia de ingreso al mercado estaría definida por tres diferentes tipos de planes: básico, negocio y empresario con costos de \$ 30, \$ 100 y \$ 300 respectivamente. La Tabla 5.3 detalla los ingresos anuales según los planes ofrecidos.

Plan	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4	
	Clientes	Ingreso	Clientes	Ingreso	Clientes	Ingreso	Clientes	Ingreso
Basico	1891	56730	3152	94560	5043	151290	5358	160740
Negocio	315	31500	630	63000	945	94500	1260	126000
Empresario	63	18900	157	47100	315	94500	441	132300
Total	NA	107130	NA	204660	NA	340290	NA	419040

**Tabla 5.3 Ingresos Anuales**

*Fuente: Elaboración Propia*

### 5.3.2 FLUJO DE CAJA

Para el cálculo del flujo de caja se deben tomar en cuenta los montos de egresos e ingresos ya conocidos. Además, vamos a considerar la inversión inicial para la implementación y los cobros realizados por las instituciones públicas. En la tabla 5.4 se muestra los montos cobrados por instituciones públicas.

Detalle	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Fitel	1071.3	2046.6	2898.6	3402.9
Opsitel	535.65	1023.3	1449.3	1701.5
MTC	535.65	1023.3	1449.3	1701.5
Total	2142.6	4093.3	5797.2	6805.8

**Tabla 5.4 Pagos a Instituciones de telecomunicaciones**

*Fuente: Elaboración Propia*

A continuación, se construirá el flujo de caja basándonos en la información de las tablas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 respectivamente.

Detalle	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
<b>Inversion</b>	1056600				
<b>Egresos</b>		2142.6	4093.2	5797.2	6805.8
<b>Ingresos</b>		707130	204660	289860	340290
<b>Flujo de Caja</b>	<b>-1056600</b>	<b>704987.4</b>	<b>200566.8</b>	<b>284062.8</b>	<b>333484.2</b>

**Tabla 5.5 Flujo de Caja**  
*Fuente: Elaboración Propia*



## CONCLUSIONES

- ✓ A nivel de servicios de Telecomunicaciones, la ciudad de Sechura cuenta con todos los servicios que son ofrecidos en la actualidad (telefonía móvil, telefonía fija y acceso a internet) y se cuenta con la presencia de los 4 operadores que operan en el país: Movistar, Claro, Bitel, Entel.
- ✓ En la presente tesis se presenta el diseño de una red basada en la tecnología de cuarta generación LTE para la ciudad de Sechura, Se eligió esta tecnología basándose en la necesidad de ofrecer una tasa de transmisión que esté acorde a las necesidades de los usuarios de la telefonía móvil, las mismas que actualmente no son cubiertas por las redes 2G y 3G.
- ✓ Los conocimientos plasmados en este trabajo (tales como radio propagación, comunicaciones inalámbricas, sistemas de microondas) fueron adquiridos en la universidad (UNP). Adicionalmente, se usaron conocimiento adquiridos en tesis de Diseños de Redes de Cuarta Generación.
- ✓ En relación al análisis económico, se observa que la inversión a realizar será alta, pero presenta una rentabilidad a corto plazo. Además, permitirá a la empresa ser líder en el rubro de las telecomunicaciones logrando la satisfacción de los clientes.
- ✓ El despliegue de esta red no presentara dificultades geográficas para la instalación de los equipos puesto que las estaciones seleccionadas se encuentran en una zona rural. Lo cual aligera los trabajos del personal de operación y mantenimiento.

## **RECOMENDACIONES**

- ✓ Es recomendable realizar un buen estudio de campo para la correcta ubicación de los eNB's, Considerando aspectos sociales, geográficos que puedan influir en el despliegue de la red.
  
- ✓ Por motivos de seguridad del personal, la instalación de los equipos de las redes de acceso (antenas RF) y transporte (antenas de microondas) deben realizarse en serie.
  
- ✓ Es recomendable un estudio para una red de transporte mediante Fibra Óptica, con un mejor ancho de banda, ofreciendo diversos servicios, permitiendo más transmisión de data.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ✓ Michael Chancasana – “Diseño de una red 4g-lte indoor para el centro comercial real plaza santa clara”- Ancash (2015) - Pontificia Universidad católica del Perú.
- ✓ Cesar Lozada – “Radio Planning LTE Para La Ciudad De Piura”, Piura (2016), Universidad Nacional de Piura.
- ✓ Danish / Joel – “Diseño de una red de acceso de banda ancha utilizando tecnología WIMAX” – Piura (2017) - Universidad Nacional de Piura.
- ✓ Sistemas Inalámbricos URL:  
<http://www.areatecnologia.com/electronica/sistemas-inalambricos.html>.
- ✓ Andrea / Viviana – “Estado Actual de las redes LTE en Latinoamérica”, Cuenca-Ecuador (2008), Universidad de Cuenca.
- ✓ LTE Advanced URL: [https://es.wikipedia.org/wiki/LTE\\_Advanced](https://es.wikipedia.org/wiki/LTE_Advanced)
- ✓ Modulación OFDM URL:  
[http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5\\_MODULACION\\_OFDM.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5_MODULACION_OFDM.pdf).
- ✓ Modulación OFDM y OFDMA URL:  
<http://www.laroccasolutions.com/140-lte-radio-interface-overview/>
- ✓ Tecnología TDD Y FDD  
URL:<https://ingetelecom.files.wordpress.com/2007/08/fdd-y-tdd.docx>
- ✓ Ignacio Fernández – “Planificación y dimensionamiento de una red LTE”, Barcelona (2013-2014), Universidad Politécnica de Catalunya.
- ✓ Banda Ancha URL: <https://es.slideshare.net/foroglobalcrossing/puppy-rojas-banda-ancha-para-todos-mas-all-de-la-infraestructura>
- ✓ Pedro Robles – “Despliegue de una red LTE, para el campus de la universidad de Alicante”, Alicante (2014), Escuela politécnica Superior.
- ✓ José Manuel Huidobro – “Comunicaciones Móviles Sistema GSM, UMTS y LTE.”, (2012).

- ✓ Arquitectura LTE URL:  
*<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Cap%C3%ADtulo+2+-+LTE.pdf>*
- ✓ Provincia de Sechura URL: *<https://es.wikipedia.org/wiki/Sechura>*
- ✓ 3GPP TS 136 101 V9.4.0 (2010-06), “User Equipment (UE) radio transmission and reception”.
- ✓ Ministerio de transportes y Comunicaciones (MTC).
- ✓ ANDRÉS BILLY BALTAZAR ARRESE – “Diseño de una red LTE en la ciudad de Trujillo”- Lima (2013) – Universidad Nacional de Ingeniería.
- ✓ Cost 231- Hata Url: [https://en.wikipedia.org/wiki/COST\\_Hata\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/COST_Hata_model)
- ✓ Diógenes Marcano, “Dimensionamiento de redes móviles”– Lima (2011)  
- PUCP